

**Retrospektiver Vergleich zwischen
axillärer, vertikaler infraklavikulärer und lateraler sagittaler infrakla-
vikulärer Blockade des Plexus brachialis in Bezug auf Effektivität
und intraoperative Schmerzfreiheit.**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena**

**von Nicole Surek
geboren am 13. Dezember 1982 in Erfurt**

Gutachter

1. Prof. Dr. Konrad Reinhart, Jena

2. Prof. Dr. Michael Hartmann, Jena

3. Prof. Dr. Andreas Meier-Hellmann, Erfurt

Tag der öffentlichen Verteidigung: 5. Mai 2015

1. Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria (Arterie)
Abb.	Abbildung
AV	atrioventrikulär
AxB	axilläre Blockade
brach.	brachii
bzw.	beziehungsweise
C	Zervikalsegment
cm	Zentimeter
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
cut.	cutaneus
D	Digitus (Finger)
EKG	Elektrokardiogramm
et al.	et alii (und andere)
Hz	Hertz
KI	Konfidenzintervall
lat.	lateralis
LSIB	laterale sagittale infraklavikuläre Blockade
M./Mm.	Musculus/Musculi (Muskel/Muskeln)
mA	Milliampere
MAD	mittlerer arterieller Blutdruck
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
n	Anzahl
NaCl	Natriumchlorid
N./Nn.	Nervus/Nervi (Nerv/Nerven)
OP-	Operations-
OR	Odds Ratio
post.	posterior
Proc.	Processus
R./Rr.	Ramus/Rami (Ast/Äste)
Tab.	Tabelle
TEE	Transösophageale Echokardiographie

Th	Thorakalsegment
V.	Vena (Vene)
VIB	vertikale infraklavikuläre Blockade
vs.	versus

2. Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Abkürzungsverzeichnis	1
2. Inhaltsverzeichnis	3
3. Zusammenfassung	4
4. Einleitung	6
4.1. Anatomie des Plexus brachialis	9
4.2. Periphere Regionalanästhesie (allgemein)	14
4.2.1. Vorteile gegenüber der Allgemeinanästhesie	16
4.2.2. Nachteile gegenüber der Allgemeinanästhesie	16
4.2.3. Allgemeine Kontraindikationen	17
4.2.4. Allgemeine Komplikationen	18
4.2.5. Nervenstimulation	21
4.3. Axilläre Blockade (AxB)	24
4.4. Vertikale infraklavikuläre Blockade (VIB)	28
4.5. Laterale sagittale infraklavikuläre Blockade (LSIB)	31
5. Ziel der Arbeit	33
6. Methodik	34
6.1. Datenerhebung	34
6.2. Statistische Verfahren	37
7. Ergebnisse	38
8. Diskussion	52
8.1. Methodenkritik	58
8.2. Schlussfolgerung	59
9. Literaturverzeichnis	60
10. Anhang	65

3. Zusammenfassung

Die Regionalanästhesie als patientenschonendes Anästhesieverfahren erfreut sich in der Gegenwart immer größerer Beliebtheit. Um speziell den Plexus brachialis für Operationen an Hand, Unterarm und Ellenbogen sensorisch und motorisch zu blockieren, haben sich zwei Punktionstechniken international etabliert: die vertikale infraklavikuläre Blockade nach Kilka et al. (VIB) und die axilläre Technik nach de Jong (AxB). 2008 wurde im Helios Klinikum Erfurt ein neuer Zugangsweg zur Blockade des Plexus brachialis eingeführt: die laterale sagittale infraklavikuläre Blockade nach Klaastad et al. (LSIB). Die theoretischen und anatomischen Überlegungen dieser modifizierten Technik hatten überzeugt. Die Vorteile der VIB und der AxB konnten bei Minimierung der Nachteile in der LSIB vereint werden. Etablierte Verfahren, die bis dahin zur Blockade des Plexus brachialis eingesetzt wurden, fanden bis auf wenige Ausnahmen im klinischen Alltag keine Anwendung mehr. In einem retrospektiven Vergleich sollte überprüft werden, ob diese Umstellung gerechtfertigt war. Anhand von 619 Patienten wurde verglichen, ob die neu eingeführte Technik, bezogen auf den intraoperativen Opiatverbrauch, zusätzliche Nervenblockaden und auftretende Komplikationen, mindestens gleichwertig gegenüber den etablierten Verfahren ist. Weiterführend wurden alle Fälle zusammengefasst und analysiert inwieweit ein Blockadeerfolg von OP-Gebiet, OP-Dauer, Alter und Geschlecht des Patienten sowie Erfahrung und Geschlecht des punktierenden Anästhesisten abhängig ist. Alle erfassten Blockaden wurden anhand anatomischer Landmarken identifiziert und mittels peripherer Nervenstimulation durchgeführt.

Im Einzelvergleich der Punktionsverfahren unterscheidet sich die LSIB signifikant von VIB und AxB. Durch Anwendung der neu eingeführten Technik ist die Chance auf einen Blockadeerfolg gegenüber den etablierten Verfahren fast doppelt so hoch. Rückblickend musste bei AxB und VIB häufiger supplementiert werden als bei der LSIB. Betrachtet man aber alle den Blockadeerfolg beeinflussenden Faktoren, besteht zwischen LSIB und VIB kein signifikanter Unterschied mehr. Einzeln betrachtet, ist das Verfahren der LSIB deutlich besser. Der Blockadeerfolg ist aber nicht allein von der Punktionstechnik abhängig. Bei der Analyse auftretender Komplikationen wurde allein die Gefäßpunktion verglichen. Sie zeigte keinen signifikanten Unterschied. Insgesamt kam es nur in 3,6% aller Fälle zu einer blutigen Aspiration und stellt somit im Allgemeinen eine sehr geringe Komplikationsrate dar.

Nach Zusammenfassung aller durchgeführten Blockadetechniken zeigte sich, dass der Plexus brachialis bei Operationen, die distal des Ellenbogengelenks durchgeführt wurden, mit höherer Wahrscheinlichkeit erfolgreich blockiert werden konnten, als bei Operationen am Ellenbogen selbst. Beim Vergleich knöchernes vs. nicht knöchernes OP-Gebiet deutet sich an, dass bei Operationen an knöchernen Strukturen häufiger supplementiert werden musste. Dies spiegelt die anatomische Tatsache wieder, dass die sensible Innervierung knöcherner Strukturen nicht immer mit dem darüber liegenden Haut- und Muskelareal identisch ist. Ein signifikanter Unterschied bestand jedoch nicht. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass bei älteren Patienten im Vergleich zu jüngeren Patienten ein Blockadeerfolg signifikant häufiger eintrat. Bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Patientengeschlechter zeigt sich die Tendenz, dass bei männlichen Patienten häufiger supplementiert werden musste als bei weiblichen. Die Analyse des Blockadeerfolges in Abhängigkeit der Berufserfahrung der punktierenden Anästhesisten hat ergeben, dass der Blockadeerfolg ab dem zweiten Ausbildungsjahr häufiger eintrat. Weibliche Anästhesistinnen punktierten insgesamt signifikant häufiger erfolgreich. Die Gegenüberstellung Berufserfahrung vs. Geschlecht ergab bei Mitarbeitern, die maximal 36 Monate an der Klinik tätig waren, einen signifikant höheren Blockadeerfolg bei den Anästhesistinnen. Bei Mitarbeitern, die länger als 36 Monate in der Klinik tätig waren, zeigte sich in den beiden Geschlechtergruppen kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Blockadeerfolges.

Zusammenfassend konnte beim Vergleich der drei Blockadeverfahren festgestellt werden, dass bei Anwendung der LSIB, im Gegensatz zu AxB und VIB, höhere Blockadeerfolge erzielt werden konnten. Ihre alleinige Anwendung ist somit gerechtfertigt und die Einführung erbrachte retrospektiv betrachtet keine Nachteile. Der hohe Blockadeerfolg und die einfache Anwendbarkeit heben die LSIB so hervor. Anatomische Landmarken können ohne aufwändige Abmessungen leicht identifiziert werden. Das Pneumothoraxrisiko ist aufgrund der klaren anatomischen Verhältnisse minimal. Weit proximal abzweigende Nervenäste, die den Arm unterhalb des Humeruskopfes innervieren und zur Toleranz des Oberarmtourniquets blockiert sein sollten, können aufgrund des infraklavikulären Punktionsortes optimal mit erfasst werden. Die Technik der LSIB ist aus eigenen Erfahrungen leicht erlernbar und wegen ihrer Vorteilhaftigkeit aus dem klinischen Alltag des Helios Klinikum Erfurt nicht mehr wegzudenken!

4. Einleitung

Für die Behandlung von Schmerzen an der oberen Extremität oder um schmerzhaftes Eingriffe zu ermöglichen, gibt es in der modernen Anästhesie zwei Vorgehensweisen, die grundsätzlich verschieden sind: die Allgemeinanästhesie und die periphere Nervenblockade der betroffenen Extremität (Heck und Fresenius 2004). Sowohl im operativen als auch im therapeutischen Bereich hat die Regionalanästhesie durch die Entwicklung neuer und modifizierter Blockadetechniken, die für die Patienten noch effizienter und sicherer sind, in den vergangenen Jahren einen immer höheren Stellenwert erlangt.

Gerade die peripheren Nervenblockaden zeigen gegenüber der Allgemeinanästhesie zahlreiche Vorteile. Das Risiko einer Aspiration, mögliche Zahnschäden oder das häufige Auftreten von Übelkeit und Erbrechen postoperativ entfallen. Hieraus resultiert ein erhöhtes Maß an Patientenzufriedenheit. Des Weiteren sind Risikopatienten mit kardiopulmonalen Leiden, Stoffwechselerkrankungen oder Niereninsuffizienz einer geringeren Gefährdung ausgesetzt. Die postoperative Morbidität und Mortalität sind durch die Anwendung peripherer Nervenblockaden möglicherweise sogar verringert (Grau et al. 2004). Aufgrund reduzierter postoperativer Überwachungszeiten und insbesondere einer verkürzten Dauer des Krankenhausaufenthaltes entstehen aus betriebswirtschaftlicher Sicht bei der Anwendung regionaler Methoden geringere Kosten und Folgekosten (Bartussek et al. 2004).

Doch auch etablierte regionalanästhesiologische Verfahren haben nicht nur Vorteile. Der erhöhte Zeitaufwand und damit verlängerte Wechselzeiten zwischen zwei Operationen sowie eventuell erfolglose oder insuffiziente Blockaden, die dann eine Analgosedierung oder Allgemeinanästhesie zur Folge haben, sind Nachteile der Regionalanästhesie. Der sogenannte „Versager“ - Anteil peripherer Nervenblockaden liegt zwischen 5 - 50% und ist unter Anderem abhängig von der Technik, der Konstitution des Patienten, der Ausbreitung des OP-Gebietes sowie der Erfahrung und dem Können des punktierenden Anästhesisten (Kapral et al. 2002, Elste 2006).

Die Gefahr von Nervenschädigungen oder einer versehentlichen Gefäßpunktion sind Komplikationen der peripheren Leitungsanästhesie. Eine intravasale Applikation von Lokalanästhetika kann lebensgefährliche Auswirkungen auf Herz und Gehirn zur Folge haben.

Seitdem Halsted und Hall im Jahr 1884 die transkutane Blockade des N. ulnaris erstmalig beschrieben, wurde auf viele Arten versucht, den Plexus brachialis zu anästhesieren. Immer wieder stellten Wissenschaftler neue Punktionstechniken vor, die sich in ihrer praktischen Anwendung nicht etabliert haben und wieder verworfen worden sind (Jankovic 2008). Bis heute haben sich die interskalenäre Methode nach Winnie, modifiziert nach Meier, die vertikale infraklavikuläre Blockade nach Kilka et al. und die axilläre Technik nach de Jong zur sensorischen und motorischen Blockade des Plexus brachialis international durchgesetzt (Meier 2001, Kilka et al. 1995, de Jong 1961).

Der vorliegende retrospektive Vergleich analysiert drei periphere Regionalanästhesieverfahren zur Blockade des Plexus brachialis: die axilläre Blockade (AxB) nach de Jong, die vertikale infraklavikuläre Blockade (VIB) nach Kilka et al. und die laterale sagittale infraklavikuläre Blockade (LSIB) nach Klaastad et al.. Bei allen drei Techniken wurden die Punktionsorte anhand anatomischer Landmarken aufgesucht und die zu blockierenden Nerven mittels peripherer Nervenstimulation identifiziert.

Die AxB nach de Jong und die VIB nach Kilka et al. sind bereits etablierte Verfahren. Sie werden im europäischen Raum am häufigsten zur Blockade des Armplexus angewendet und wurden schon häufig miteinander verglichen. Die LSIB ist eine nach lateral modifizierte Technik der VIB, welche von Klaastad et al. bereits 2004 publiziert und 2008 auf dem Deutschen Anästhesie Kongress in München vorgestellt wurde. Alle drei Verfahren sind für operative Eingriffe an der oberen Extremität gut geeignet. Trotz genau definierter Punktionsorte und Stichrichtungen anhand anatomischer Landmarken gibt es oftmals Unterschiede bezüglich Blockadeerfolg, Anzahl der Punktionsversuche und auftretender Komplikationen. So werden die Pneumothoraxgefahr bei der VIB, die Nichterfassung weit proximal abzweigender Nerven bei der AxB sowie die Möglichkeit einer Gefäßpunktion aufgrund der engen Lagebeziehung zur A. subclavia bzw. zur A. axillaris immer wieder kritisch betrachtet. Theoretisch gesehen befindet sich die Punktionsstelle der LSIB weiter entfernt von Pleura und Gefäßen als die der VIB bzw. der AxB. Trotzdem liegt sie proximal genug, um alle Nervenäste, die den Arm unterhalb des Humeruskopfes innervieren, zu erreichen. Jene anatomischen Fakten führten zu der Überzeugung, dass dieses modifizierte Verfahren gleichwertig – wenn nicht sogar effektiver – gegenüber den bereits etablierten Techniken sein könnte. Aufgrund der Zusammenschau der theoretischen Fak-

ten wurde die LSIB im August 2008 im Helios Klinikum Erfurt eingeführt und ersetzte damit die AxB und die VIB in ihrer täglichen Anwendung.

Unter Einbeziehung verschiedener perioperativer Faktoren wurden die drei oben genannten Blockadeverfahren hinsichtlich ihrer alleinigen intraoperativen Effektivität, auftretender Komplikationen sowie in Abhängigkeit von OP-Dauer und OP-Gebiet verglichen. Da ein Blockadeerfolg, auch unabhängig vom Punktionsgebiet, von vielen weiteren Faktoren abhängig ist, wurden im Nachgang alle Fälle zusammengefasst und untersucht, ob sich die Erfolgsquote in Abhängigkeit von den verschiedenen Alters- und Geschlechtergruppen der Patienten sowie der Erfahrung und dem Geschlecht des punktierenden Anästhesiepersonals unterscheidet.

Anhand der retrospektiv betrachteten Daten wurde überprüft, ob die klinikinterne Umstellung auf die LSIB gerechtfertigt war und diese mindestens gleichwertig gegenüber den bisher etablierten Blockadetechniken des Plexus brachialis ist.

4.1. Anatomie des Plexus brachialis

Der Plexus brachialis wird aus den Vorderwurzeln der Spinalnerven der Zervikalsegmente C5 - C8 sowie der Faser Th1 der Thorakalsegmente gebildet. Gelegentlich beinhaltet er Fasern aus den Segmenten C4 und Th2 als anatomische Variabilität. Auf ihrem Weg zur Skalenuslücke, die durch die Mm. scaleni anterior et medius gebildet werden, ziehen die Spinalnervenzwurzeln durch die Foramina intervertebralia der Wirbelsäule. Nachdem sie gemeinsam mit der A. subclavia die Skalenuslücke passiert haben, lagern sie sich oberhalb der Clavicula zu den drei Primärsträngen (Trunci) zusammen. Der Truncus superior entsteht aus den Wurzeln von (C4), C5 und C6, die Wurzeln von C7 ziehen als Truncus medius weiter und der Truncus inferior enthält Wurzeln aus C8 und Th1 (Th2). Dieser supraklavikuläre Teil des Plexus brachialis verläuft dann weiter nach latero-kaudal und erreicht hinter der Clavicula seine infraklavikuläre Lage.

Durch erneute Verflechtung der Nervenanteile bilden sich in der Pars infraclavicularis die drei Sekundärstränge (Fasciculi), die als solche in die Axilla münden. Ihre Nomenklatur erfolgt gemäß der Lage zur Arterie. In der Axilla liegen die Faszikel ihrer Bezeichnung entsprechend medial, lateral und posterior zur A. axillaris (Abb. 1).

Der Plexus brachialis innerviert motorisch und sensibel die Haut und Muskulatur der gesamten oberen Extremität. Die dorsalen Äste der drei Trunci bilden den Fasciculus posterior. Aus seiner Aufzweigung gehen folgende Endäste hervor: Nn. radialis, axillaris, thoracodorsalis sowie subscapularis inferior und superior. Der N. axillaris innerviert die Mm. deltoideus und teres minor motorisch und die Seitenfläche von Schulter und Oberarm über den N. cutaneus brachii lateralis superior sensibel.

Als Hauptnerv des posterioren Faszikels versorgt der N. radialis die Streckermuskulatur des Ober- und Unterarms. Sensibel innerviert er die dorsale und laterale Oberarmseite sowie die radiale Unterarmseite.

Die ventralen Äste der Trunci superior und medius vereinigen sich zum Fasciculus lateralis. Aus ihm gehen die Nn. musculocutaneus, medianus (lateral Anteil) und pectoralis lateralis hervor.

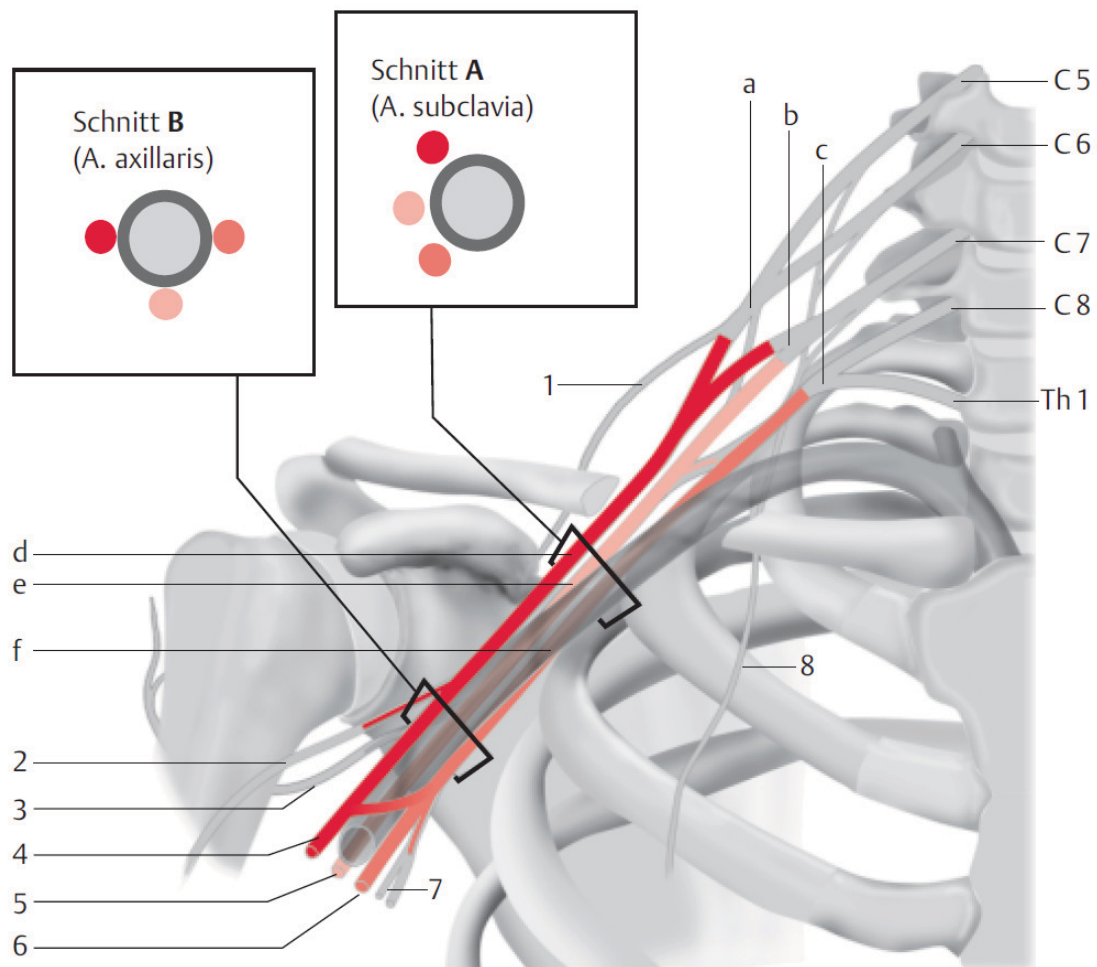


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Plexus brachialis (Büttner und Meier 2010)

- | | |
|--------------------------------|--|
| a - Truncus superior (C5, C6) | 1 - N. suprascapularis |
| b - Truncus medius (C7) | 2 - N. musculocutaneus |
| c - Truncus inferior (C8, Th1) | 3 - N. axillaris |
| d - Fasciculus lateralis | 4 - N. medianus |
| e - Fasciculus posterior | 5 - N. radialis |
| f - Fasciculus medialis | 6 - N. ulnaris |
| | 7 - Nn. cutanei antebrachii und brachii medialis |
| | 8 - N. thoracicus longus |

Der N. musculocutaneus entspringt meist sehr weit proximal der Axilla. Er innerviert motorisch alle Beuger des Oberarmes. Sein Innervationsgebiet endet als sensibler Hautnerv an der radialen Seite des Unterarmes bis hin zum Daumenballen als N. cutaneus antebrachii lateralis.

Der N. medianus enthält Faseranteile des lateralen und medialen Faszikels und bildet auf der Vorderseite der A. axillaris die Medianusschlinge. Diese Vereinigung der beiden Faszikelanteile zieht als N. medianus weiter. Motorisch versorgt er den größten Teil der Unterarmbeuger. Sensibel innerviert er das Ellenbogengelenk, den Daumenballen, die laterale Hohlhand sowie D I, D II, D III und den radialen Anteil von D IV.

Aus den ventralen Ästen des Truncus inferior bildet sich der Fasciculus medialis. Von ihm stammen die folgenden Nerven ab: Nn. ulnaris, medianus (medialer Anteil), pectoralis medialis, cutaneus antebrachii medialis und cutaneus brachii medialis.

Der N. ulnaris gibt im Oberarmbereich keine Äste ab. Motorisch versorgt er die Kleinfingerballenmuskulatur und die Mm. interossei der Hand. Die sensible Innervation des N. ulnaris betrifft die ulnare Hohlhand sowie D V und den ulnaren Rand von D IV. Die Nn. cutaneus brachii medialis und cutaneus antebrachii medialis sind rein sensible Nerven. Sie innervieren die Haut des medialen Oberarms zwischen Ellenbogen und Achselhöhle sowie die Haut des medialen Unterarms. Eine Zusammenfassung über die aus den drei Faszikeln abgehenden Nerven vermittelt Tabelle 1.

Tab. 1: Faszikel des Plexus brachialis mit Nervenabgängen (Koebeke 1997)

Fasciculus posterior	N. axillaris	C5, C6
	N. radialis	C5 - Th1
Fasciculus lateralis	N. musculocutaneus	C5 - C7
	N. medianus (lateral Anteil)	C6 - C8, Th1
Fasciculus medialis	N. medianus (medialer Anteil)	C6 - C8, Th1
	N. ulnaris	C8 - Th1
	N. cutaneus brachii medialis	C8 - Th1
	N. cutaneus antebrachii medialis	C8 - Th1

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Nerven des Plexus brachialis mit ihren Kennmuskeln und den motorischen Reizantworten.

Tab. 2: Nerven des Plexus brachialis mit Kennmuskeln und Funktionen
(Mehrkens und Geiger 2005)

N. axillaris	M. deltoideus	Abduktion des Armes im Schultergelenk
N. musculocutaneus	M. biceps brachii M. brachialis	Beugung im Ellenbogengelenk in Supination
N. medianus	M. flexor carpi radialis Mm. flexor pollicis longus und brevis M. flexor digitorum profundus (I - III)	Beugung im Handgelenk, Beugung und Adduktion des Daumens, Beugung D I - III
N. radialis	M. triceps M. extensor carpi radialis M. extensor digitorum	Streckung im Ellenbogen, Streckung/Radialabduktion der Hand, Streckung/Dorsalflexion der Hand, Strecken und Spreizen der Finger
N. ulnaris	M. flexor carpi ulnaris M. flexor digitorum profundus (IV - V)	Beugung und Ulnarflexion der Hand, Beugung D IV - V

Die sensible Versorgung der knöchernen Strukturen korreliert nicht immer mit der darüber liegenden Hautareale (Abb. 2, Abb. 3). Eine Regionalanästhesie ist für den Patienten erst dann suffizient, wenn die sensiblen Afferenzen von Haut und Knochen blockiert sind. Das ist beispielsweise wichtig in der Radiuschirurgie.

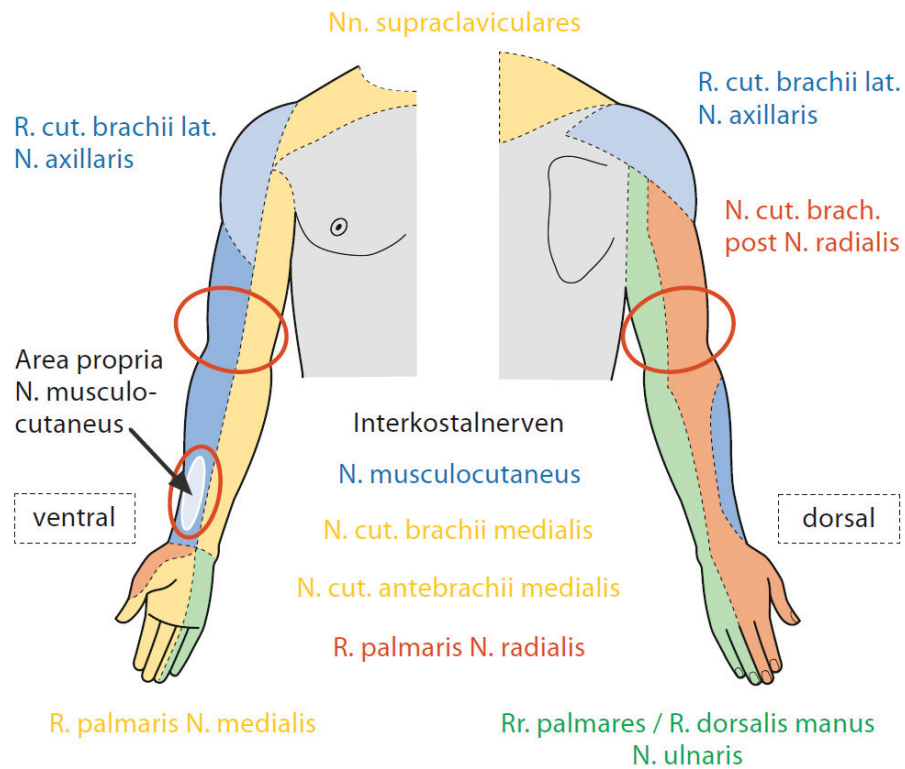


Abb. 2: Sensible Versorgung der Haut der oberen Extremität (Hatztenbühler 2011)

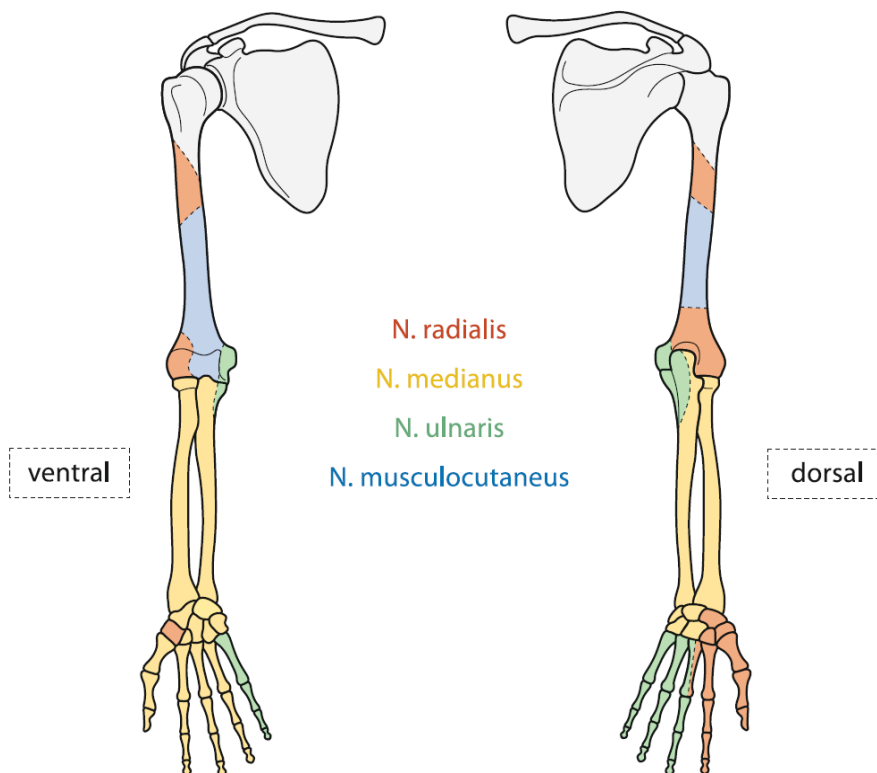


Abb. 3: Sensible Versorgung der Knochen der oberen Extremität (Hatztenbühler 2011)

4.2. Periphere Regionalanästhesie (allgemein)

Die Anwendung regionaler Anästhesieverfahren auf möglichst breiter Basis hat sich zu einem weltweiten Trend entwickelt. Es gibt viele Hinweise die nahelegen, dass die Regionalanästhesie im Vergleich zu allgemeinanästhesiologischen Verfahren von großem Vorteil ist und Patienten sowohl intra- als auch postoperativ enorm von ihr profitieren. Studien, die diese Erfahrungen definitiv belegen, stehen aber noch aus.

Wie für alle anderen medizinischen Maßnahmen auch, muss jeder Patient vor einer Nervenblockade sorgfältig über den Injektionsvorgang, mögliche Nebenwirkungen und Komplikationen sowie Verhaltensregeln vor und nach dem Anästhesieverfahren aufgeklärt werden. Dieses Gespräch ist aus rechtlichen Gründen gewissenhaft zu dokumentieren. Neben der Aufklärung sollten Kontraindikationen ausgeschlossen und ein neurologischer Status erhoben werden, um Auffälligkeiten dahingehend auszuschließen bzw. zu dokumentieren.

Im Einleitungsbereich des OP-Saals muss vorbereitend auf eine optimale Patientenlagerung geachtet werden. Jede Regionalanästhesie wird nur unter kardialem Monitoring, mit vorhandenem intravenösem Zugang und unter sterilen Bedingungen durchgeführt.

Die Punktionsstelle wird anhand anatomischer Landmarken bestimmt. Unterstützend setzt man bei der Anwendung der Regionalanästhesie die Nervenstimulation und immer häufiger die Sonographie ein. Die korrekte Kanülenlage kann ebenfalls durch das Auslösen von Parästhesien mittels kühl-schrankkalter isotoner Kochsalzlösung identifiziert werden. Allerdings wird diese Technik von den Patienten als sehr unangenehm empfunden. Parästhesien sollten nicht durch die Nadel selbst ausgelöst werden, da die Gefahr der Nervenschädigung dadurch erhöht ist.

Nach Identifikation der korrekten Kanülenposition wird das Lokalanästhetikum verabreicht. Aus Sicherheitsgründen sollten vor und während der Applikation regelmäßig Aspirationsversuche durch eine Assistenzperson unternommen werden, um eine intravasale Lage der Stimulationskanüle frühzeitig zu erkennen. Außerdem müssen die Patienten kardiovaskulär und idealerweise durch verbales Monitoring überwacht werden. Die Regionalanästhesie beeinflusst die Weiterleitung von Aktionspotentialen der Nerven. Die eingesetzten spezifischen Lokalanästhetika erzeugen eine reversible Blockade der Natriumkanäle der Nervenzellmembran und unterbrechen so die Reiz-

weiterleitung. Den Beginn der sensiblen Blockade beschreiben viele Patienten als Kribbeln, Ameisenlaufen oder Wärmegefühl. Die Durchführung der Regionalanästhesie selbst muss sorgfältig dokumentiert werden.

Eine unabdingbare Voraussetzung für erfolgreiche Nervenblockaden ist die anatomische Kenntnis der zu blockierenden Körperregion. Trotz aller einsetzbaren Hilfsmittel ist dieses fundierte Wissen die Basis der peripheren Leitungsanästhesie. Der Blockadeerfolg führt unweigerlich über die Auseinandersetzung mit Lehrbüchern, die die anatomischen Verhältnisse genauestens darstellen. Regionalanästhesie bedeutet angewandte Anatomie. Die Kenntnisse der Anatomie sind durch nichts zu ersetzen!

4.2.1. Vorteile gegenüber der Allgemeinanästhesie

Als großer Vorteil der Regionalanästhesie gilt, dass – bei komplikationsloser Durchführung – die systemische Wirkung der üblichen Narkosemittel entfällt. So bleiben zum Beispiel Nebenwirkungen wie Übelkeit, Erbrechen, Kreislaufbeeinträchtigungen oder postoperative pulmonale Komplikationen aus. Zwischenfälle wie Aspiration, Zahnschäden und Verletzungen der Mundschleimhaut, des Kehlkopfes oder der Luft- röhre entfallen. Periphere Nervenblockaden können auch bei nicht nüchternen, Risiko- oder Notfallpatienten durchgeführt werden. Die Vigilanz bleibt ungestört und Aufenthalte im Aufwachraum sind entbehrlich. Die ambulante Anwendung ist eher unbedenklich. Die Regionalanästhesie bringt meist eine längere Analgesie mit sich als eine Allgemeinanästhesie. Postoperative Schmerzen können – bei kontinuierlicher Technik – exzellent kontrolliert und therapiert werden. Eine orale Analgesie ist dadurch nicht notwendig. Die Kathetertechnik ermöglicht außerdem eine suffiziente Physiotherapie und somit eine frühzeitige Mobilisierung der betroffenen Körperregion sowie des Patienten selbst. Nach operativen Eingriffen kommt es oft zu Gewebeveränderungen, die von lokalen Entzündungsreaktionen und Mikrozirkulationsstörungen geprägt sind. Durch die sympathikolysebedingte Vasodilatation wird das OP-Gebiet postoperativ besser durchblutet. Dadurch wird der Abtransport anfallender Metaboliten sowie die Wundheilung gefördert und die verletzte Extremität kann sich schneller erholen (Jankovic 2008).

4.2.2. Nachteile gegenüber der Allgemeinanästhesie

Eine wichtige Voraussetzung für die Durchführung einer Plexusanästhesie ist die Akzeptanz durch den Patienten. Sprachliche Barrieren, Unkooperativität, Angst, intellektuelle Hindernisse sowie Infektionen am Punktionsort können die erfolgreiche Anlage einer Regionalanästhesie unmöglich machen (Büttner et al. 1988, Heck und Fresenius 2004, Hempel 1999, Schüpfer und Jöhr 1997). Durch periphere Nervenblockaden entstehen oft verlängerte Wechselzeiten zwischen zwei Operationen, die aus betriebswirtschaftlicher Sicht nachteilig sind. Inkomplette oder frustrane Nervenblockaden, die zusätzliche Supplementierungen oder eine Allgemeinanästhesie nach sich ziehen, gelten als Nachteil der Regionalanästhesie.

4.2.3. Allgemeine Kontraindikation

Als absolute Kontraindikationen für die Durchführung einer Regionalanästhesie gelten die Ablehnung durch den Patienten sowie Infektionen oder Fremdkörper im Bereich der Punktionsstelle.

Relative Kontraindikationen stellen hämorrhagische Diathesen, stabile systemische Nervenerkrankungen sowie lokale Nervenschäden dar. Bei genauer Dokumentation der Vorher-Nachher-Situation kann eine periphere Nervenblockade trotz neurologischem Defizit der betroffenen Extremität durchgeführt werden. Bei Hinweisen auf Gerinnungsstörungen oder Antikoagulanzenbehandlung sollte die Indikation der Plexusanästhesie nach dem Nutzen-Risiko-Prinzip abgewogen werden. Aufgrund der hohen Patientenzufriedenheit und der Vorteile gegenüber der Allgemeinanästhesie fällt diese Einschätzung eher zu Gunsten der Regionalanästhesie aus.

Allergische Reaktionen gelten für viele Medikamente als Kontraindikation bezüglich ihrer Anwendung. Berichtet der Patient von solch einem Ereignis in Verbindung mit zurückliegenden Nervenblockaden, sollte das früher applizierte Medikament genauer hinterfragt werden. Für Lokalanästhetika aus der Gruppe der Ester wurden in der Vergangenheit häufiger allergische Reaktionen beschrieben. Heutzutage werden fast ausschließlich Lokalanästhetika aus der Gruppe der Amide benutzt. Allergische Reaktionen sind in der Literatur für diese Lokalanästhetikagruppe extrem selten beschrieben (Graf und Niesel 2003, Meier und Büttner 2006, Jankovic 2008). Spezielle Kontraindikationen von AxB, VIB und LSIB werden unter den einzelnen Blockadetechniken aufgeführt.

4.2.4. Allgemeine Komplikationen

Bei einigen Patienten führen die applizierten Lokalanästhetika zu substanzspezifischen Nebenwirkungen und unerwünschten systemischen Symptomen. Durch ihr allergenes Potential können sie Reaktionen auslösen, die von einer allergischen Dermatitis bis hin zum anaphylaktischen Schock reichen (Meier und Büttner 2006, Jankovic 2008). Die beobachteten Reaktionen sind aber zum Großteil bei Verwendung von Estern aufgetreten. Für die Amide wurden in der Literatur bisher extrem selten allergische Reaktionen beschrieben (Graf und Niesel 2003).

Eine gefürchtete Komplikation ist die intravasale Injektion des Lokalanästhetikums. Auch eine Überdosierung oder zu rasche Resorption am Applikationsort kann zu systemischen Nebenwirkungen führen. Sie manifestieren sich entweder am Zentralnervensystem oder am Herz-Kreislauf-System (Abb. 4).

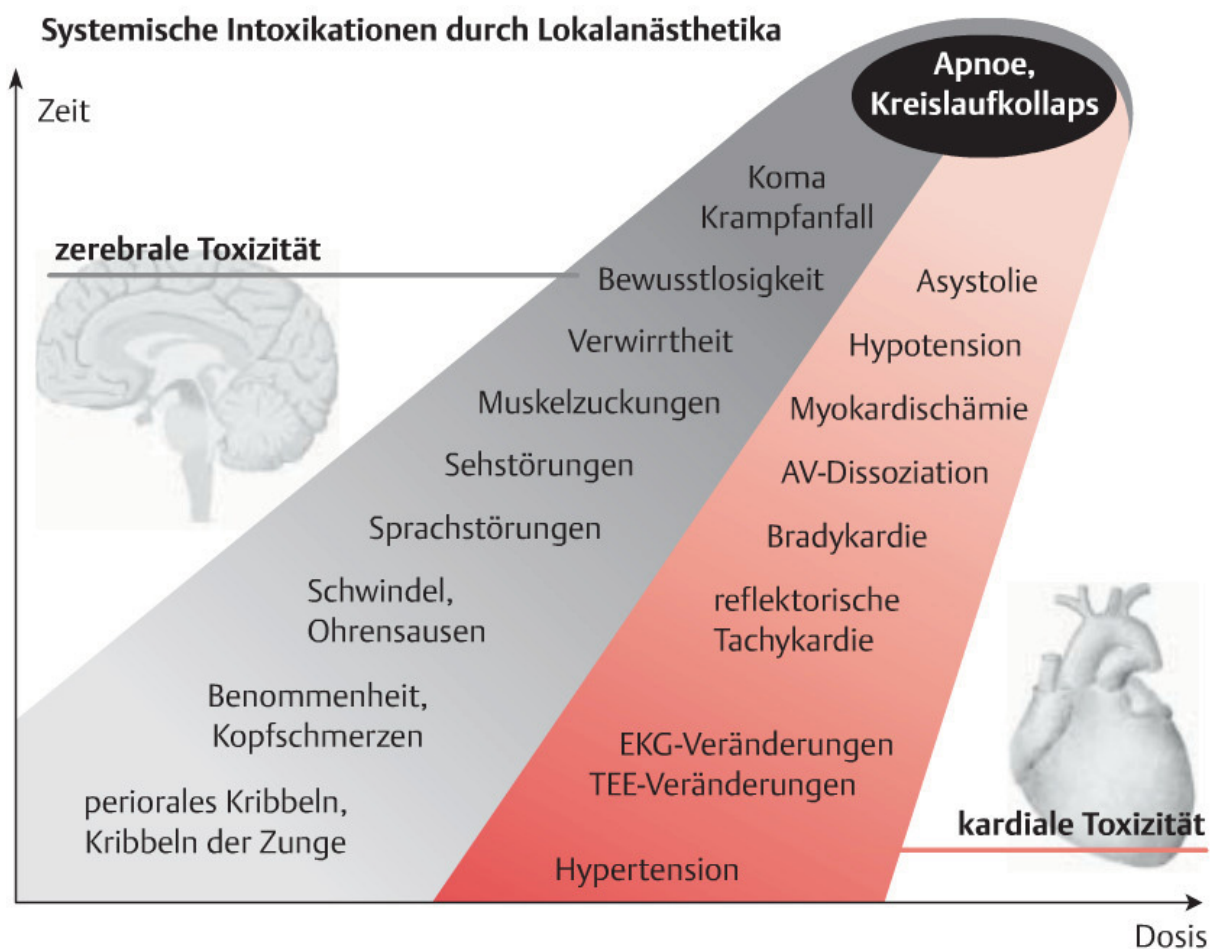


Abb. 4: Symptome der Lokalanästhetikaintoxikation (van Aken und Wulf 2010)

Die zentralnervöse Toxizität tritt bereits bei niedrigeren Plasmakonzentrationen auf als die kardiovaskuläre (Jankovic 2008). Sie entwickelt sich innerhalb von zirka 20 Minuten – bei intravasaler Gabe sehr viel eher. Frühsymptome sind Taubheitsgefühl lingual und perioral, metallischer Geschmack, Schwindelgefühl, Ohrenklingeln, Schläfrigkeit, Nystagmus, Muskelzittern, Sehstörungen und verwaschene Sprache. Die gefährlichste Komplikation sind generalisierte tonisch-klonische Krämpfe und Koma. Die Inzidenz von Krampfanfällen während einer Infiltrationsanästhesie wird mit 0,1 - 1/1000 angegeben (Auroy et al. 2002, Brown et al. 1995). Wird diese Komplikation nicht sofort und richtig behandelt, kann sie zu Hirnschäden oder zum Tod des Patienten führen (Jankovic 2008).

Kardiale Veränderungen treten meist erst nach sehr hohen Dosen und etwas verzögert gegenüber den zerebralen Effekten auf. Sie äußern sich primär durch Tachykardie und Hypertonus, gefolgt von Blutdruckabfall und Bradykardie bis hin zur Asystolie. Bestimmte Lokalanästhetika, wie das langwirksame Bupivacain, sind besonders kardiotoxisch. Eine erforderliche Reanimation ist deshalb oft frustrierend. Ropivacain zeichnet sich beispielsweise durch eine geringere Kardiotoxizität aus (Mehrkens und Geiger 2005, Jankovic 2008).

Minimieren kann man diese systemischen Komplikationen indem man das Lokalanästhetikum langsam und unter regelmäßigen Aspirationsversuchen durch eine Assistenzperson appliziert. Wenn man währenddessen zusätzlich mit dem Patienten verbal kommuniziert, kann man sicherstellen, dass der Patient keinerlei Beschwerden hat und noch adäquate Antworten gibt.

Ein geringer Patientenanteil entwickelt vorübergehend, oder aber auch persistierend, sensible oder motorische Ausfälle nach einer peripheren Nervenblockade. Bezüglich anästhesiebedingter Nervenschäden gibt es relativ wenige Veröffentlichungen, so dass man davon ausgehen kann, dass Nervenschäden, die auf einer peripheren Blockade beruhen, eine seltene Komplikation sind. Wenn der Nervenstimulator mit einer Stromstärke $< 0,2$ mA signalisiert, dass die Nadelspitze sich zu nah am Nerv befindet oder bei Injektion des Lokalanästhetikums ein einschließendes Schmerzerlebnis durch den Patient beschrieben wird, muss die Kanülenposition durch Zurückziehen korrigiert werden. Durch diese Maßnahme können Nervenschäden reduziert werden. In der Literatur werden neurologische Schäden nach einer peripheren Nervenblockade mit 0,019% (Auroy et al. 1997) bzw. 1,7% (Fanelli et al. 1999) angegeben. Doch nicht jeder Nervenschaden ist auf die durchgeführte Blockade selbst zurückzuführen.

Treten nach chirurgischen Eingriffen neurologische Funktionsstörungen auf, sollten auch andere mögliche Ursachen in Betracht gezogen werden (Cheney et al. 1999, Fanelli et al. 1999). Eine fehlerhafte, unachtsame oder unphysiologische Lagerung des blockierten Armes über mehrere Stunden sowie Druckschäden durch eine länger anhaltende Blutsperre, die sich postoperativ als Myalgien manifestieren, können zu vorübergehenden oder dauerhaften Parästhesien führen (Urban und Urquhart 1994). Irreversible Schäden, wie eine Zerstörung der Myelinscheide und eine Axonschrumpfung, sind bereits zwei bis vier Stunden nach Aufpumpen des Oberarmtourniquets möglich (Ochoa et al. 1972). Hauptsächlich treten motorische Ausfälle sowie verminderte Wahrnehmung von Berührung, Vibration und Lagesinn auf. Durch die Verwendung breiter Manschetten kann man den Nervenschaden minimieren. In der Literatur wird beschrieben, dass Nervenläsionen nach Operationen in peripherer Regionalanästhesie zu 88% operationsbedingt und lediglich zu 12% auf die Anästhesie zurückzuführen sind (Horlocker et al. 1999).

Grob betrachtet, kommt es wahrscheinlich häufiger zu postoperativen Parästhesien aufgrund fehlender Sorgfalt im Umgang mit dem motorisch und sensorisch blockierten Arm, als durch die Technik der Nervenblockade selbst. Bevor man einen Nervenschaden der Regionalanästhesie anlastet, sollte man alle anderen in Betracht kommenden Möglichkeiten ausschließen.

Durch konsequent angewandte Nervenstimulation und ständige Aspirationsstellung der mit 0,9%iger NaCl-Lösung gefüllten Spritze an der Injektionsleitung können sowohl Nervenschäden als auch systemische Komplikationen minimiert werden.

4.2.5. Nervenstimulation

Die Stimulation von Nerven wurde 1850 erstmals durch von Helmholtz untersucht. Er experimentierte an isolierten Nerv-Muskel-Präparaten und beschrieb auslösbare motorische Muskelreaktionen nach Reizung des zugehörigen Nervs (von Helmholtz 1850). 1912 veröffentlichte Georg Perthes die Möglichkeit des Einsatzes perkutaner elektrischer Stimulation mittels einer Kanüle, die das Auffinden der Nerven vereinfacht. Er führte Blockaden des N. ischiadicus und des N. femoralis, des Plexus brachialis sowie anderer peripherer Nerven durch (Perthes 1912). Pearson, Greenblatt und Wright modifizierten die Nervenstimulation weiter (Jankovic 2008). 1980 begründeten Raj et al. die moderne Ära der peripheren Nervenstimulation indem sie einen Nervenstimulator für die Unterstützung der peripheren Nervenblockaden zur Anwendung brachten (Raj et al. 1980).

Die periphere Nervenstimulation ist ein einfaches und effektives Hilfsmittel in der Regionalanästhesie. Sie ersetzt allerdings in keinem Fall die grundlegenden Kenntnisse der anatomischen Leitstrukturen! Sie bestätigt lediglich die unmittelbare Nachbarschaft der Kanüle zum Zielnerv und erhöht somit die Wahrscheinlichkeit eines Blockadeerfolges. Außerdem ist die Nervenstimulation sehr hilfreich bei der Aufnahme der applizierten Medikamente. Nervenfasern nehmen Lokalanästhetika bevorzugt während eines Aktionspotentials auf. Durch die Stimulation sind die Natriumkanäle geöffnet und das applizierte Medikament kann ungehindert einströmen. Ein ruhender Nerv nimmt kaum Lokalanästhetika auf (Stevens et al. 1993).

Periphere Nerven setzen sich aus vielen tausenden Nervenfasern zusammen. Sie führen sowohl sensorische als auch motorische Anteile des somatischen und vegetativen Nervensystems. Wenn Stromimpulse auf einen Nerv treffen, werden bei Überschreiten einer bestimmten Schwellenreizstromstärke Depolarisationen an der Nervenmembran ausgelöst. Dadurch kommt es zu einer Erregungsfortleitung. Beinhaltet dieser Nerv motorische Fasern, wird im zugehörigen Muskel eine Kontraktion ausgelöst. Enthält der Nerv sensible Fasern, entstehen im zugehörigen Versorgungsgebiet Parästhesien. Diese Reizantworten macht sich die Nervenstimulation in der peripheren Regionalanästhesie zu Nutze. Durch eine variabel einstellbare Impulsdauer ist es möglich, nur motorische Nervenfasern zu stimulieren. Dauert der Impuls nur 0,1 ms an, werden sensorische Fasern nicht gereizt, so dass die Patienten bei der Nervenstimulation keine Schmerzen verspüren (Hempel 1999).

Die verwendeten Stimulationskanülen sind – bis auf einen kleinen Bereich an der Nadelspitze – vollständig isoliert. Dadurch hat der elektrische Strom eine minimale Austrittsfläche. Das elektrische Feld wird gebündelt und führt an der Nadelspitze zu einer hohen Stromdichte. Je höher die Stromdichte an der Nadelspitze ist, desto niedriger kann die Stromstärke gehalten werden, die für eine Nervenstimulation notwendig ist. Sobald sich die Spitze der Stimulationskanüle dem zu blockierenden Nerv nähert, kann auch die Stromstärke reduziert werden, die für eine Depolarisation erforderlich ist. Dadurch kann man sich auf optimale Art und Weise den zu blockierenden Nerven nähern, ohne sie zu schädigen (Neuburger et al. 2001).

Nach dem Funktionstest des Nervenstimulators und dem Aufsuchen der Punktionsstelle anhand anatomischer Landmarken wird die betreffende Region leitliniengerecht desinfiziert (Morin et al. 2006). Unter sterilen Bedingungen wird die Injektionsleitung der Punktionskanüle mit einer mit 0,9%igen NaCl-Lösung gefüllten Spritze konnektiert und luftblasenfrei durchgespült. Die Verbindung zur Stimulationskanüle und zur Neutralelektrode, die sich am Patienten befindet, wird hergestellt. Nachdem das subkutane Gewebe mit der Kanüle punktiert wurde, wird das Stimulationsgerät eingeschaltet. Die Impulsbreite wird auf 0,1 ms, die Stimulationsfrequenz auf 2 Hz und die Stromstärke auf 1,5 mA eingestellt. Unter ständiger Aspiration der mit 0,9%igen NaCl-Lösung gefüllten Spritze durch die assistierende Person wird die Kanüle Richtung Nerv vorgeschoben, bis Kontraktionen im gewünschten Kennmuskel auftreten. Die Stromstärke wird nun schrittweise reduziert. Die Kontraktionsstärke korreliert mit der Distanz zum Nerv. Je niedriger der Strom, der zum Auslösen von Reizantworten erforderlich ist, desto näher ist die Kanülenspitze am Nerv. Die gewünschte Schwellenstromstärke, bei der gerade noch Muskelkontraktionen ausgelöst werden können, liegt bei zirka 0,3 mA. Erlischt die Reizantwort bereits bei höheren Stromstärken, muss die Kanülenposition korrigiert werden. Bei Impulsamplituden < 0,2 mA besteht die Gefahr einer Nervenverletzung. In dem Fall muss die Stimulationsnadel durch Zurückziehen ebenfalls korrigiert werden. Es ist wichtig, dass immer nur an einer Position Veränderungen vorgenommen werden: entweder wird die Kanülenlage durch den Anästhesisten oder die Stromstärke durch die Assistenzperson optimiert. Durch die motorische Reizantwort der peripheren Nerven des Plexus brachialis werden spezifische Armbewegungen ausgelöst (Abb. 5). Dadurch kann man den stimulierten Nerv identifizieren und auf die richtige Position der Stimulationskanüle schließen.

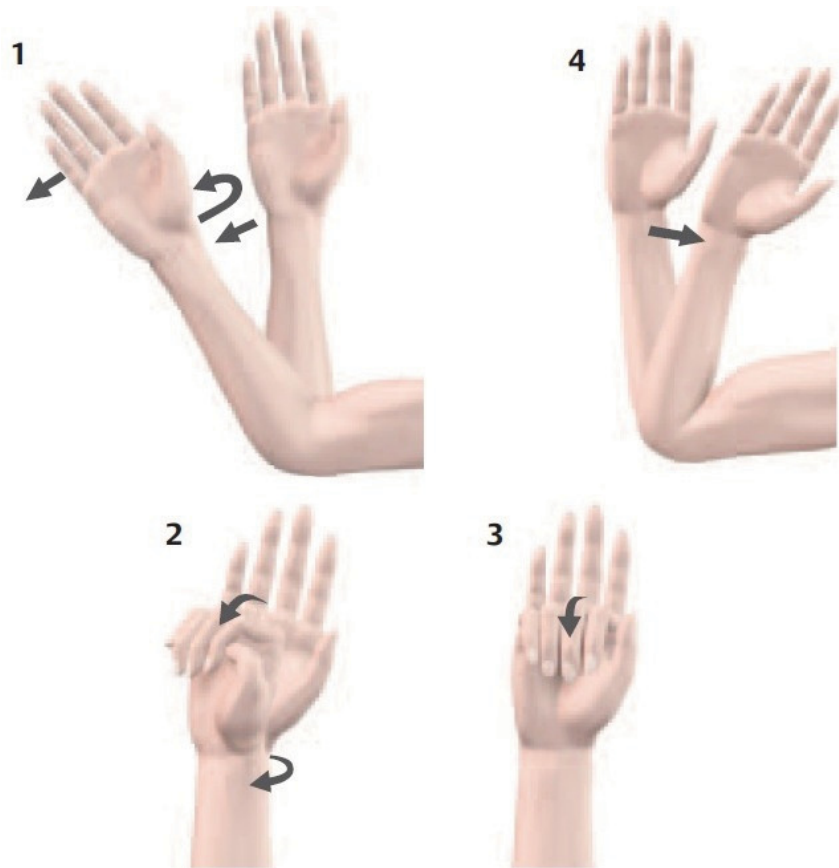


Abb. 5: Motorische Reizantwort des Plexus brachialis (Büttner 2010)

1 - N. radialis

4 - N. musculocutaneus

2 - N. medianus

3 - N. ulnaris

Sind bei der gewünschten Impulsstärke die entsprechenden Muskelkontraktionen gerade noch sichtbar, wird nach negativem Aspirationsversuch das Lokalanästhetikum langsam appliziert. Die Muskelzuckungen klingen durch die Injektion sofort ab. Während der gesamten Injektion sind wiederholt Aspirationsversuche vorzunehmen, um eine intravasale Lage frühzeitig zu erkennen.

Die periphere Nervenstimulation kommt weltweit zur Anwendung und ist die Methode der Wahl zur Lokalisation von Nerven. Jeder Nervenblock hat seine spezifischen Kennmuskeln. Durch die Kombination aus anatomischen Kenntnissen, Nervenstimulation und neuerdings auch Ultraschalltechnik können hohe reproduzierbare Erfolgsraten in der Regionalanästhesie erreicht werden (Mehrkers und Geiger 2005). Das Risiko einer Nervenläsion ist minimal. Unabhängig vom Punktionsort ist der Nervenstimulator ein hilfreiches Werkzeug zur korrekten und sicheren Nervenlokalisation. Bei den verglichenen Nervenblockaden dieser Arbeit wurde grundsätzlich die periphere Nervenstimulation angewendet.

4.3. Axilläre Blockade (AxB)

Die typische axilläre Blockade nach de Jong wird in einem Bereich vorgenommen, in dem sich die peripheren Nerven des Armes bereits aus den Faszikeln gebildet haben. Der gesamte Plexus brachialis ist bis in die axilläre Region von einer bindegewebigen Hülle umgeben. Die Nn. axillaris und musculocutaneus verlassen diese Gefäß-Nerven-Scheide in den meisten Fällen bereits sehr weit proximal. Der N. axillaris wird nur in den wenigsten Fällen erreicht. Der N. musculocutaneus wird nur erfasst, wenn die Technik sehr weit nach proximal reicht und genügend Volumen des Lokalanästhetikums appliziert wird (Meier und Büttner 2004).

Die Nichterfassung dieser Nervenäste hat zur Folge, dass am lateralen Ober- und Unterarm unzureichende Blockaden auftreten können. Dies stellt zum Beispiel ein Problem bezüglich der Anwendung eines Oberarmtourniquets dar. Die Patienten tolerieren die Manschette oft nicht. Folglich muss die Nervenblockade supplementiert oder eine Allgemeinanästhesie in Betracht gezogen werden. Der N. radialis befindet sich in der axillären Region dorsal der A. axillaris und ist somit als weiterer „Problemnerv“ der AxB anzusehen (Hempel 1999). Trotzdem ist dieses Verfahren aufgrund seiner einfachen und komplikationsarmen Technik weit verbreitet.

Die Durchführung der Blockade erfolgt in Rückenlage des Patienten. Der zu anästhesierende Arm ist 90° abduziert, im Ellenbogen 90° gebeugt und außenrotiert und sollte bequem auf einer Unterlage aufliegen. Eine Hyperabduktion muss vermieden werden, weil dadurch die arterielle Pulsation obliterieren kann und die Palpation der Arterie somit erschwert. Außerdem wird die optimale Verteilung des Lokalanästhetikums negativ beeinflusst (Jankovic 2008). Als anatomische Leitstrukturen dienen die Axilla, die A. axillaris im Sulcus bicipitalis medialis sowie die Mm. pectoralis major und coracobrachialis.

Die A. axillaris ist im Sulcus bicipitalis medialis in der Regel gut zu tasten. Oberhalb der Arterie befindet sich der M. coracobrachialis. Zwischen Arterie und Muskel ist etwas distal der Achselfalte eine Lücke tastbar und zu fixieren. Die Punktion wird an der Stelle vorgenommen, wo der M. pectoralis major die Axilla kreuzt (Abb. 6). Dies sollte so weit proximal wie möglich erfolgen, weil dadurch die Wahrscheinlichkeit, auch den N. musculocutaneus zu erreichen, erhöht ist.

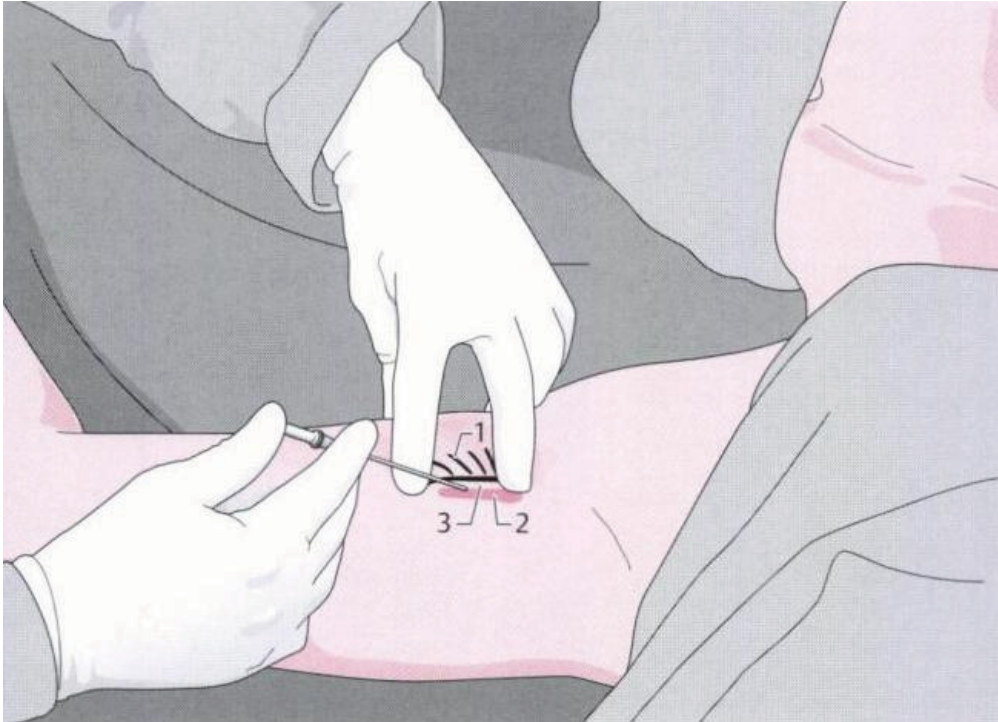


Abb. 6: Anatomische Landmarken der AxB (Büttner und Meier 2010)

- 1 - M. coracobrachialis
- 2 - A. axillaris im Sulcus bicipitalis medialis
- 3 - Punktionsstelle

Nach der Desinfektion wird die Stimulationskanüle in der fixierten Lücke parallel zur Arterie in einem Winkel von 30°- 45° zur Haut nach proximal eingestochen. Um eine mögliche Gefäßpunktion frühzeitig zu erkennen, wird die mit 0,9%iger NaCl-Lösung gefüllte Spritze an der Kanülenzuleitung in ständiger Aspirationsstellung gehalten. Als Reizantwort werden Muskelkontraktionen im Innervationsbereich der Nn. medianus und ulnaris erwartet (Abb. 5). Nach Erreichen der Schwellenstromstärke von etwa 0,35 mA wird das Lokalanästhetikum unter regelmäßigen Aspirationsversuchen appliziert. Da der Applikationsort weiter proximal liegt als die Einstichstelle, ist die Wahrscheinlichkeit groß, den N. musculocutaneus erfolgreich zu blockieren (Abb. 7). Bei alleiniger Reizantwort des N. musculocutaneus sollte die Kanülenposition korrigiert werden, da er auf dieser Höhe die Gefäß-Nerven-Scheide schon verlassen hat und im M. coracobrachialis verläuft (Mehrkers und Geiger 2005). Die Blockade kann als Single-Shot oder als kontinuierliche Kathetertechnik angewendet werden.

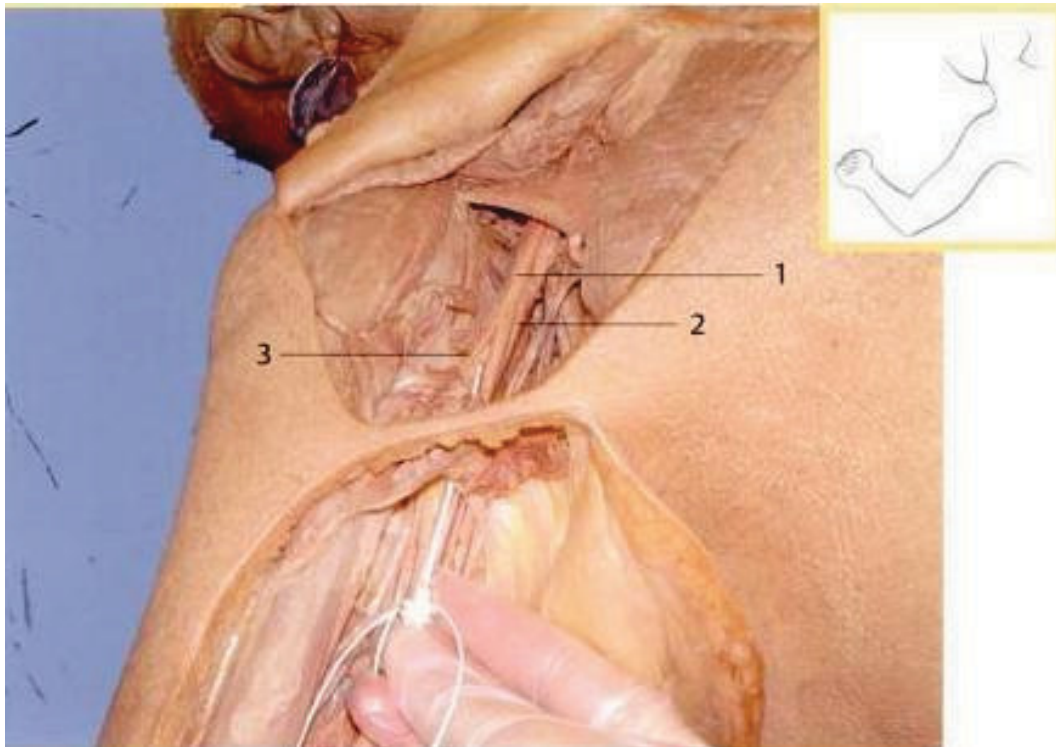


Abb. 7: Axilläre Blockade - Kanülenspitze am N. musculocutaneus
(Meier und Büttner 2004)

- 1 - Fasciculus lateralis plexus brachialis
- 2 - A. axillaris
- 3 - N. musculocutaneus

Bei richtiger Durchführung der AxB kommt es zu einer zuverlässigen motorischen und sensiblen Blockade der Nn. medianus, ulnaris und musculocutaneus (Aul 2000, Büttner et al. 1987, Büttner und Klose 1991). Die Häufigkeit kompletter Blockaden liegt bei der AxB bei 70 - 75% (Büttner et al. 1988, Neuburger et al. 1998), etwa 20 - 25% können supplementiert werden und etwa 5% sind komplette Versager. Bei sorgfältiger Punktion und ausreichendem Volumen des Lokalanästhetikums stellt die Blockade des N. musculocutaneus kein Problem dar. Die häufigsten Versager sind auf eine inkomplette Blockade des N. radialis zurückzuführen (Aul 2000, Büttner et al. 1987, Büttner und Klose 1991). Dieser Nerv geht weit proximal aus dem posterioren Faszikel hervor und verläuft um den Oberarmknochen im Sulcus nervi radialis nach distal. Diese anatomischen Verhältnisse gelten als ursächlich für inkomplette Blockaden im Innervationsgebiet des N. radialis. Des Weiteren befindet er sich hinter der A.

axillaris und liegt somit nicht unmittelbar im Applikationsbereich des Lokalanästhetikums.

Die AxB kann bei allen operativen Eingriffen unterhalb des Ellenbogens zur Anwendung kommen (Jankovic 2008). Die kontinuierliche Kathetertechnik eignet sich gut zur postoperativen Schmerztherapie, physiotherapeutischen Behandlung sowie Prophylaxe und Therapie chronischer Schmerzzustände (Meier und Büttner 2004).

Wird die Punktionstechnik korrekt durchgeführt, sind Gefäßpunktionen sehr selten (1,1%) (Büttner et al. 1988). Nervenschäden treten mit dieser Technik extrem selten auf (Krebs und Hempel 1984). Bei Verwendung eines Verweilkatheters und ausreichender Menge Lokalanästhetika kommt es kaum zu Problemen mit der Toleranz des Tourniquets (6,1%) (Büttner et al. 1988). Grund dafür ist der Vorschub des Katheters über die Kanülenspitze hinaus. Der Katheter kommt somit weiter proximal zum Liegen und die applizierten Lokalanästhetika können auch weit proximal abzweigende Nervenäste erreichen. Allerdings wird in der Literatur beschrieben, dass bei Anwendung der axillären Kathetertechnik deutlich höhere Raten lokaler Entzündungszeichen bei einer Therapiedauer von 2 - 12 Tagen auftreten (Büttner et al. 1989, Schreiber et al. 2002).

Als Vorteile der AxB gelten die klaren anatomischen Orientierungspunkte und die einfache Durchführung aufgrund der oberflächlichen Lage der Gefäß-Nerven-Scheide. Bei Patienten mit pulmonalen Problemen besteht keine Kontraindikation, weil das Risiko eines Pneumothorax` ausgeschlossen ist. Als nachteilig erweist sich, dass die Anästhesie für Eingriffe an Oberarm und Ellenbogen aufgrund oben erläuteter Umstände oft nicht ausreicht und die Nn. musculocutaneus und radialis meist nicht suffizient anästhesiert sind (Büttner et al. 1988, Meier und Büttner 2004).

Eine spezielle Kontraindikation ist die eingeschränkte Abduktions- oder Elevationsfähigkeit des Armes. Bei geplanter AxB stellt dies ein Problem bezüglich der präpunktionalen Lagerung dar.

4.4. Vertikale infraklavikuläre Blockade (VIB)

Inkomplette Anästhesieausbreitungen, Schmerzen durch Oberarmtourniquets sowie Lagerungsschwierigkeiten bei Elevationseinschränkungen führten dazu, dass die VIB als Alternative zur AxB in den Vordergrund rückte.

Die klassische Punktionsstelle nach Kilka et al. befindet sich im Bereich der Unterquerung des Schlüsselbeins durch den Plexus brachialis. Er liegt hier in etwa 4 cm Tiefe lateral der A. und V. subclavia. In diesem Gebiet liegen die Faszikel des Plexus brachialis sehr eng beieinander (Abb. 1), so dass von einer sehr guten Blockade aller den Arm versorgenden Nerven ausgegangen werden kann (Meier und Büttner 2004). Der Punktionsort wird folgendermaßen aufgesucht: man tastet den ventralen Fortsatz des Akromions und die Mitte der Fossa jugularis. Diese Strecke wird halbiert und direkt unterhalb der Clavicula streng lotrecht zur Patientenunterlage punktiert (Abb. 8). Bei korrekter Durchführung ist eine Verletzung von Nerven, Gefäßen oder Pleura nur selten zu beobachten. Bei medialer Abweichung besteht die hohe Wahrscheinlichkeit, dass A. oder V. subclavia punktiert werden (Neuburger et al. 1998, Kilka et al. 1995, Lanz und Wachsmuth 1959). Auch die Gefahr der Pleuraverletzung ist dadurch erhöht (Mehrkens und Geiger 2005, Kilka et al. 1995).

Entscheidend für den Blockadeerfolg ist die korrekte Identifikation der anatomischen Leitstrukturen (Abb. 8). Im Vergleich zur Fossa jugularis ist das Aufsuchen des ventralen Akromions eher schwierig. Aber gerade diese Struktur ist für die Bestimmung des Punktionsortes essentiell. Als Hilfestellung kann man das Schlüsselbein nach lateral verfolgen und trifft auf das Akromioklavikulargelenk. Der ventrale Fortsatz liegt ventraler und etwas lateraler. Weiterhin kann man dem Verlauf der Crista scapulae bis zum ventralen Ende folgen. Wenn man die aufgesuchte Knochenstruktur fixiert und darunter den Arm des Patienten bewegt, kann man ausschließen, dass es sich um Anteile des Humeruskopfes handelt. Dieser würde sich bei Manipulation mitbewegen, der ventrale Akromionfortsatz nicht.

Während der Blockadedurchführung liegt der Patient bequem auf dem Rücken. Die Hand der zu blockierenden Seite befindet sich entspannt auf dem Bauch. So kann man die ausgelösten Muskelkontraktionen gut beobachten. Eine spezielle Lagerung des Armes ist nicht notwendig. Der Anästhesist steht am Kopfende des Patienten. Dadurch hat er eine bessere Kontrolle über die Kanülenabweichung – besonders nach medial. Punktiert wird streng senkrecht zur Patientenunterlage.

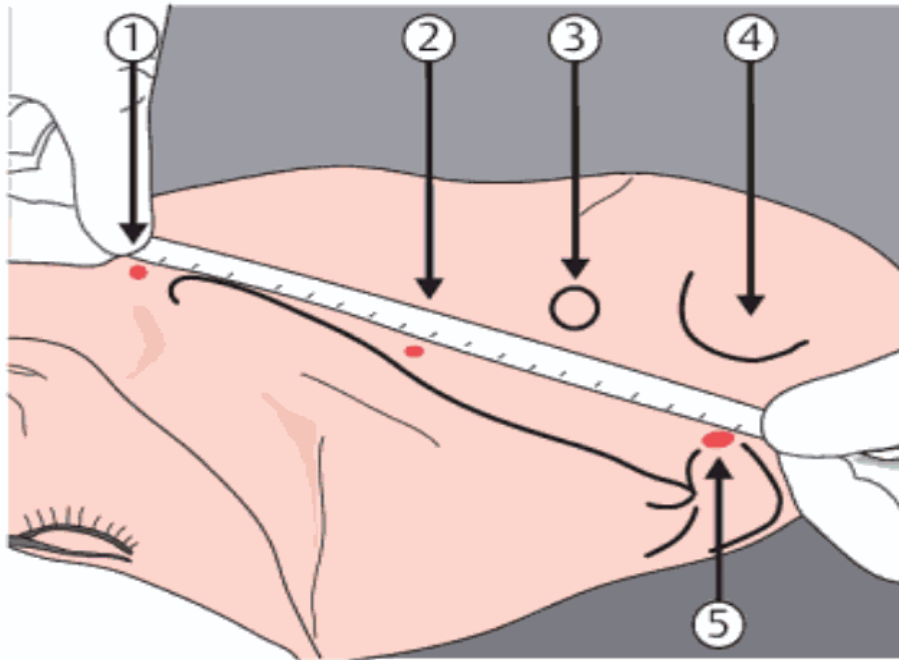


Abb. 8: Landmarken der VIB (Büttner und Meier 2010)

- 1 - Mitte Fossa jugularis
- 2 - Punktionsort VIB
- 3 - Processus coracoideus
- 4 - Humeruskopf
- 5 - ventraler Anteil des Akromions

Als erfolgversprechend gelten periphere Muskelkontraktionen im Bereich der Finger durch Stimulation aller drei Faszikel. Oft werden primär nur Anteile des Fasciculus lateralis mit Kontraktionen des M. biceps brachii durch Reizung des N. musculocutaneus stimuliert. In dem Fall kann mit einer inkompletten Blockade gerechnet werden. Um dennoch einen Blockadeerfolg zu erzielen, muss die Kanüle bis unter die Haut zurückgezogen, 0,5 - 1 cm nach lateral korrigiert und erneut streng senkrecht vorgeschoben werden. Wegen der Nähe zu Pleura und Gefäßen sollte eine Korrektur der Stimulationskanüle nur nach lateral erfolgen. Bei Anwendung der kontinuierlichen Kathetertechnik ist die Platzierung bzw. das Vorschieben des Katheters relativ schwierig, da die Stimulationskanüle senkrecht auf den Plexus brachialis trifft (Wilson et al. 1998). Außerdem werden beim Kathetervorschub Schmerzen und Parästhesien in der Literatur beschrieben (Schreiber et al. 2002).

Aufgrund der potenziellen Pneumothoraxgefahr muss eine zu weit mediale und zu tiefe Punktion vermieden werden. Selbst bei korpulenten Patienten darf die Punktionsiefe nie über 6 cm betragen. Bei asthenischen Patienten liegt der Plexus brachia-

lis oft schon in 3 cm Tiefe (Neuburger et al. 2001). Selbst bei korrekter Durchführung der Technik und unter Berücksichtigung aller Besonderheiten lässt sich die Pneumothoraxgefahr nie mit absoluter Sicherheit vermeiden (Neuburger et al. 2000). Bei der VIB kommt es mit etwa 10 - 30% relativ häufig zu Gefäßpunktionen (Kilka et al. 1995, Neuburger et al. 1998). Dabei wird in der Regel nicht die A. subclavia punktiert, sondern die V. cephalica, die den Punktionsort an dieser Stelle kreuzt. Die blutige Aspiration weist auf eine zu weit medial gewählte Einstichstelle hin. Eine weitere gefürchtete Komplikation der infraklavikulären Blockade ist der iatrogen verursachte Pneumothorax (Neuburger et al. 2000, Stadlmeyer und Neubauer 2000). Die Häufigkeitsangabe des Pneumothoraxrisikos schwankt zwischen 0,2 - 6% (Neubauer et al. 2000, Jankovic 2000).

Ein Emphysemthorax ist eine spezielle Kontraindikation der VIB. Hierbei können die Lungenspitzen bis hoch unter die Schlüsselbeine ziehen. Die Gefahr einer versehentlichen Pleurapunktion und damit die Ausbildung eines Pneumothorax ist dadurch erhöht. Das Vorliegen einer kontralateralen Parese des N. phrenicus oder des N. recurrens stellt eine weitere spezielle Kontraindikation der VIB dar (Stadlmeyer und Neubauer 2000). Aufgrund der vielfältigen anatomischen Variationen könnten bei einer infraklavikulären Injektion von Lokalanästhetika auch die oben genannten Nerven der ipsilateralen Seite blockiert werden. Bei einer beidseitigen Phrenicusparese würde die Zwerchfellatmung wegfallen und die Atemarbeit wäre erschwert. Die Parese beider Recurrensnerven hätte eine beidseitige Stimmbandlähmung und somit den Verschluss der Trachea zur Folge. Eine beidseitige VIB, ein kontralateral vorhandener Pneumothorax und Zustand nach kontralateraler Pneumektomie sind ebenfalls spezielle Kontraindikationen dieser Methode. Bei einer alleinigen respiratorischen Insuffizienz ist die VIB nur relativ kontraindiziert (Meier und Büttner 2004). Gerade das Risiko der Pleuraschädigung und die vereinzelt auftretenden Phrenicusparenen begrenzen den Einsatz der VIB zur Regionalanästhesie des Plexus brachialis bei Patienten mit COPD und Lungenemphysem (Neuburger et al. 2000, Stadlmeyer und Neubauer 2000).

Im Vergleich zur AxB zeichnet sich die VIB durch eine schnellere Anschlagzeit und eine höhere Erfolgsquote aus (Neuburger et al. 1998). In zwei Studien zur VIB wurde die Erfolgsquote zur operativen Anästhesie mit 88 bzw. 94,8% angegeben. 9 bzw. 5,2% wurden erfolgreich supplementiert, 3 bzw. 0% waren komplette Versager (Neuburger et al. 1998, Kilka et al. 1995).

4.5. Laterale sagittale infraklavikuläre Blockade (LSIB)

Klaastad et al. publizierten 2004 einen neuen, nach lateral modifizierten Punktionsort als alternativen Zugangsweg zum Plexus brachialis. Die Studie wurde unter Zuhilfenahme von MRT-Aufnahmen durchgeführt. Die optimale Winkleinstellung zwischen Punktionsort, Nadel und Faszikeln sowie die Risikominimierung von Pleura- und Gefäßpunktionen galten als Zielsetzung dieser Untersuchung. Klaastad et al. beschrieben diesen Zugangsweg als einfacher und schneller in der Anwendung. Seine Erfolgsquote sollte effizienter sein als andere Blockadetechniken des Plexus brachialis, die mittels Nervenstimulation durchgeführt werden (Klaastad et al. 2004).

Die Punktionsstelle der LSIB liegt deutlich lateraler als die der VIB. Aus anatomischer Sicht haben die Faszikel in diesem Bereich ihre definitive Lagebeziehung zur Arterie bereits eingenommen (Abb. 1). Die Gefäße liegen an dieser Stelle nicht mehr so oberflächlich und die Entfernung zur Pleura ist ebenfalls etwas größer. Das Lokalanästhetikum wird im Verlauf des Plexus brachialis etwas distaler, jedoch noch vor Abgang des N. musculocutaneus appliziert.

Der Patient befindet sich in Rückenlage. Der zu betäubende Arm liegt bequem auf dem Bauch des Patienten oder auf der Armschiene des OP-Tisches. Für die Durchführung der Blockadetechnik ist also keine spezielle Lagerung notwendig. Der Anästhesist steht am Patientenkopf, welcher leicht zur Gegenseite geneigt ist. Als anatomische Landmarken dienen Clavicula und Processus coracoideus. Diese knöchernen Strukturen sind einfach zu identifizieren. Legt man den Zeigefinger in die Fossa infraclavicularis – oder auch „Mohrenheimsche Grube“ genannt – stößt man lateral an den Processus coracoideus und kranial an die Clavicula. Punktiert wird genau an der Spitze des knöchernen Dreiecks, das durch Schlüsselbein und Processus coracoideus gebildet wird. Nach leitliniengerechter Desinfektion der Punktionsstelle erfolgt der Einstich unter sterilen Bedingungen (Morin et al. 2006). Die Stimulationskanüle wird in einem Winkel von 30 - 40° zur Haut unter ständiger Aspiration durch die Assistenzperson streng sagittal nach kaudal vorgeschoben (Abb. 9). Eine Reizantwort ist in etwa 3 - 5 cm Tiefe zu erwarten. Alleinige Kontraktionen des M. biceps als Reizantwort des stimulierten N. musculocutaneus führen zu inkompletten Blockaden. Ziel ist eine Reizantwort des N. medianus, die in Form von Fingerbeugekontraktionen zu beobachten ist (Abb. 5).

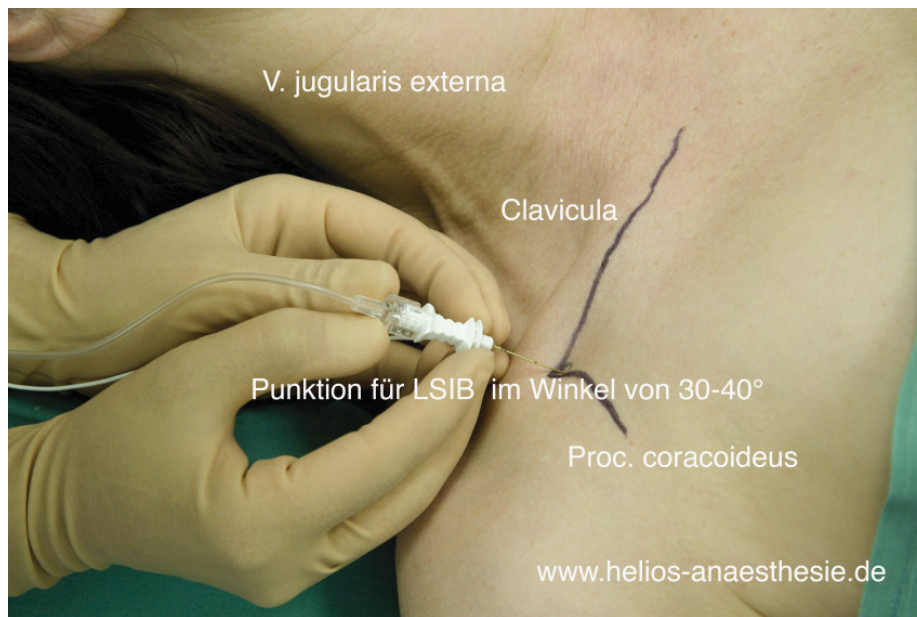


Abb. 9: LSIB – Landmarken und Stichrichtung (Helios Klinikum Erfurt)

Die Spitze der Stimulationskanüle nähert sich dem Nervenbündel in der sagittalen Ebene in dorso-kaudaler Ausrichtung. Sie trifft in einem spitzen Winkel auf die Zielstruktur. So ist das Auffinden des Plexus leichter und das Einbringen eines Katheters zur kontinuierlichen Schmerztherapie vereinfacht.

Die LSIB unterscheidet sich sowohl durch den Punktionsort als auch durch die Stichrichtung zu den vorgenannten Blockadeverfahren. Verglichen mit anderen infraklavikulären Punktionstechniken wird die Haut am weitesten lateral punktiert. Dadurch wird die Gefahr einer iatrogen verursachten Pleurapunktion reduziert. Über das Pneumothoraxrisiko – als spezielle infraklavikuläre Komplikation – ist der Patient trotzdem aufzuklären. Darüber hinaus sind Thoraxdeformitäten und disloziert verheilte Claviculafrakturen spezielle Kontraindikationen der LSIB, die ansonsten mit denen der VIB vergleichbar sind.

Zusammenfassend wurde die LSIB als effiziente Methode zur sensorischen und motorischen Betäubung des Plexus brachialis beschrieben, bei der nur ein minimales Pneumothoraxrisiko besteht, wenn man die Stimulationskanüle nicht tiefer als 6,5 cm vorschiebt (Klaastad et al. 2004). Auch in der Kinderanästhesie wird die LSIB als potentiell sichere Option zur Blockade des Plexus brachialis genannt (Sedeek und Goujard 2007).

5. Ziel der Arbeit

Die Punktionstechnik der LSIB nach Klaastad et al. wurde aufgrund der einleitend beschriebenen Vorteile im August 2008 im Helios Klinikum Erfurt eingeführt und ersetzte die VIP und die AxB bis auf wenige Ausnahmen. Nachdem sie einige Zeit angewendet wurde, stellten sich folgende Fragen:

1. Unterscheiden sich die drei verschiedenen Punktionstechniken bezüglich ihres Blockadeerfolges?
2. Gibt es Unterschiede beim Vergleich der drei Blockadeverfahren hinsichtlich auftretender Komplikationen?
3. Inwiefern hängt der Blockadeerfolg a) von der OP-Dauer und b) vom jeweiligen OP-Gebiet ab? Wurde c) bei Unterarmoperationen häufiger supplementiert, wenn an knöchernen Anteilen manipuliert werden musste?
4. Unterscheidet sich der Blockadeerfolg in Abhängigkeit von a) Alter oder b) Geschlecht der Patienten?
5. Hängt der Blockadeerfolg a) von der Erfahrung oder b) dem Geschlecht des die Punktion durchführenden Anästhesisten ab?

Als Erfolg wird definiert, dass die periphere Nervenblockade ausreichte, um eine Operation ohne zusätzliche Analgesie oder Einzelnerblockaden durchführen zu können.

6. Methodik

6.1. Datenerhebung

In dieser Untersuchung wurden perioperative Anästhesieprotokolldaten, aus denen hervorging, dass ein Regionalanästhesieverfahren in Form einer AxB, VIB oder LSIB von ärztlichen Mitarbeitern der Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Helios Klinikum Erfurt GmbH für operative Eingriffe an Hand, Handgelenk, Unterarm oder Ellenbogen durchgeführt wurde, erfasst und verglichen. Die Daten stammen aus dem Zeitraum 1991 - 2009. Anhand archivierter OP-Pläne war nachvollziehbar, welche Fälle in die Auswertung einbezogen werden können. Schlecht dokumentierte Anästhesieprotokolle fanden keine Berücksichtigung.

Insgesamt wurden 619 Fälle verglichen. Davon kam bei 191 Patienten eine AxB, bei 221 Patienten eine VIB und bei 207 Patienten eine LSIB zur Anwendung. Die AxB erfolgte mittels perivaskulärer Technik nach de Jong, die VIB nach Kilka et al. und die LSIB nach der Methode von Klaastad et al.. Die Durchführung der drei verschiedenen Techniken wurde unter 4.3. - 4.5. bereits beschrieben.

Als Analysedaten wurden folgende Parameter betrachtet und in einer Tabelle dokumentiert:

- durchgeführte Blockadetechnik
- intraoperative Applikation von Opiaten bzw. hochpotenten Analgetika
- zusätzliche Einzelnerblockaden
- aufgetretene Komplikationen
- Geschlecht und Alter (in Jahren) des Patienten
- OP-Gebiet und OP-Dauer (in Minuten)
- Herzfrequenz und MAD (prä- und intraoperativ)
- Geschlecht und Erfahrung (in Monaten) des punktierenden Anästhesisten

Die angewendete Blockadetechnik (AxB, VIB oder LSIB) wurde während der Dokumentation des Anästhesieprotokolls entsprechend vermerkt und konnte diesem somit entnommen werden.

Der Blockadeerfolg definierte sich dahingehend, dass die geplante Operation ohne Supplementierungen durchgeführt werden konnte. Als Supplementierungen gelten ausschließlich die Verabreichung hochpotenter Analgetika und zusätzliche Einzelnervblockaden. Falls prä- oder intraoperativ Supplementierungen nötig waren, wurde dies dokumentiert und konnte somit erfasst werden. Die Einteilung des Blockadeergebnisses erfolgte in die beiden Kategorien:

- Erfolg (keine Supplementierung nötig) und
- kein Erfolg (Supplementierung nötig)

Einige Patienten wurden aus unterschiedlichsten Gründen bereits präoperativ sediert. Eine Kommunikation in Bezug auf inkomplette Blockaden war somit auf verbaler Ebene nicht möglich. Anhand von Herzfrequenz und Blutdruck konnten starke intraoperative Kreislaufrschwankungen in Form von Tachykardie und/oder Hypertonie registriert werden. Entsprechend auftretende Parameter ließen auf einen unzureichenden Effekt der peripheren Nervenblockade schließen und hatten eine Supplementierung mittels hochpotenter Analgetika zur Folge. Diese Patientenfälle wurden als nicht erfolgreich angesehen.

Komplikationen, die während der Punktion auftraten, waren dem Anästhesieprotokoll zu entnehmen. Postoperativ auftretende Komplikationen hätte man in der Pflegedokumentation festgehalten. Es wurden fünf mögliche Komplikationen in Betracht gezogen:

- Blutaspiration (Gefäßpunktion)
- Pneumothorax
- Intoxikation durch ein Lokalanästhetikum
- Nervenschäden
- Infektion der Einstichstelle

Die OP-Dauer in Minuten war dem Anästhesieprotokoll zu entnehmen. Die zeitliche Einteilung erfolgte in vier Gruppen:

- < 60 Minuten
- 61 - 120 Minuten
- 121 - 180 Minuten
- > 180 Minuten

Auf das entsprechende OP-Gebiet konnte anhand der dokumentierten Diagnose und der durchgeführten Operation geschlossen werden. Es wurde in vier Gruppen eingeteilt:

- Hand
- Handgelenk
- Unterarm
- Ellenbogen

Das Patientenalter wurde anhand des Geburtsdatums und des OP-Datums in Jahren errechnet und in folgende Gruppen unterteilt:

- < 20 Jahre
- 21 - 40 Jahre
- 41 - 60 Jahre
- 61 - 80 Jahre
- > 80 Jahre

Als Erfahrung des die Regionalanästhesie durchführenden Anästhesisten gilt die Zeit, die der jeweilige Mitarbeiter in der Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Helios Klinikum Erfurt GmbH tätig war. Ein früheres Beschäftigungsverhältnis in einer anderen Einrichtung fand keine Berücksichtigung. Es wurde nicht zwischen Assistenzarzt oder Facharzt unterschieden. Die Einteilung der Erfahrung erfolgte in vier Gruppen:

- < 12 Monate
- 13 - 24 Monate
- 25 - 36 Monate
- > 36 Monate

6.2. Statistische Verfahren

Zur Deskription metrischer Merkmale wurden Mittelwert (Mw), Standardabweichung (SD), Median sowie Minimum und Maximum (Min-Max) angegeben. Kategoriale Merkmale wurden anhand absoluter und relativer Häufigkeiten (Anzahl, Prozent) beschrieben.

Der Blockadeerfolg von Untergruppen wurde anhand von Odds Ratios (OR) verglichen. Ob zwischen Blockadeerfolg und einem weiteren Merkmal eine Abhängigkeit besteht, wurde mit dem exakten Fisher-Test getestet. Wenn das interessierende Merkmal mehr als zwei Ausprägungen hatte und sich bei diesem Test eine signifikante Abhängigkeit zeigte, erfolgte anschließend der paarweise Vergleich der Gruppen mittels des exakten Fisher-Tests.

Bei der multivariaten Analyse wurde mittels einer logistischen Regression untersucht, welche Merkmale einen relevanten Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit eines Blockadeerfolges haben.

Alle statistischen Tests erfolgten zweiseitig zum Signifikanzniveau $p=0,05$.

7. Ergebnisse

7.1. Patientendaten

Tabelle 3: Geschlecht und Alter der Patienten

	n	Mw	SD	Median	Min - Max
Männer	321 (51,9%)	48,3	17,6	51,0	15,0 – 88,0
Frauen	298 (48,1%)	59,5	16,1	62,0	14,0 – 89,0
insgesamt	619	53,7	17,8	55,0	14,0 – 89,0

n - Anzahl

Mw - Mittelwert

SD - Standardabweichung

Min - Max - Minimum bzw. Maximum des Alters

Tabelle 4: Altersverteilung

Alter (Jahre)	Männer (n=321)	Frauen (n=298)	insgesamt (n=619)
<= 20	21 (6,5%)	6 (2,0%)	27 (4,4%)
21 – 40	91 (28,3%)	27 (9,1%)	118 (19,1%)
41 – 60	120 (37,4%)	107 (35,9%)	227 (36,1%)
61 – 80	83 (25,9%)	136 (45,6%)	219 (35,4%)
> 80	6 (1,9%)	22 (7,4%)	28 (4,5%)

Tabelle 5: Häufigkeit der Punktionstechniken

	Männer (n=321)	Frauen (n=298)	insgesamt (n=619)
LSIB	101 (31,4%)	106 (35,6%)	207 (33,4%)
AxB	92 (28,7%)	99 (33,2%)	191 (30,9%)
VIP	128 (39,9%)	93 (31,2%)	221 (35,7%)

Fazit:

Insgesamt wurden 619 Fälle im Alter von 14 - 89 Jahren in dieser Arbeit analysiert. Tab. 3 - 5 kann entnommen werden, dass die Geschlechts- und Altersverteilung sowie die Häufigkeit der Punktionstechniken unter Berücksichtigung des Geschlechts und im Gesamtkollektiv relativ gleich verteilt sind. Die Daten sind also miteinander vergleichbar.

7.2. *Unterscheiden sich die drei verschiedenen Punktionstechniken bezüglich ihres Blockadeerfolges?*

Tabelle 6: Blockadeerfolg und Technik

	LSIB (n=207)	AxB (n=191)	VIB (n=221)	insgesamt (n=619)
kein Erfolg	45 (21,7%)	63 (33%)	75 (33,9%)	183 (29,6%)
Erfolg	162 (78,3%)	128 (67%)	146 (66,1%)	436 (70,4%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: p=0,009

Fazit:

Der Blockadeerfolg hängt signifikant von der angewendeten Punktionstechnik ab. Daher wurde anschließend ein paarweiser Vergleich der Blockadeverfahren durchgeführt.

Tabelle 7: Paarweiser Vergleich und OR der drei Punktionstechniken

	p-Wert	OR	95%-KI
LSIB vs. AxB	0,013	1,8	1,2 – 2,8
LSIB vs. VIB	0,005	1,8	1,2 – 2,9
VIB vs. AxB	0,917	0,9	0,6 – 1,4

Fazit:

Die LSIB unterscheidet sich signifikant von AxB und VIB hinsichtlich des Auftretens eines Blockadeerfolges. Die Häufigkeit, nicht supplementieren zu müssen, ist bei der LSIB signifikant größer als bei der AxB und der VIB. AxB und VIB unterscheiden sich nicht signifikant bezüglich ihres Blockadeerfolges. Die Wahrscheinlichkeit, den Plexus brachialis durch die LSIB ausreichend motorisch und sensorisch zu blockieren, ist im Vergleich zu AxB und VIB signifikant größer. Die Erfolgschancen bei AxB und VIB unterscheiden sich kaum voneinander.

7.3. *Gibt es Unterschiede beim Vergleich der drei Blockadeverfahren hinsichtlich auftretender Komplikationen?*

Es wurde lediglich die Komplikation Gefäßpunktion analysiert. Ein iatrogen verursachter Pneumothorax und eine Infektion der Punktionsstelle traten in keinem Fall auf. Eine Intoxikation durch Lokalanästhetika und eine Nervenschädigung traten in jeweils einem Fall auf und waren nicht vergleichbar.

Tabelle 8: Gefäßpunktion und Punktionstechnik

	LSIB (n=207)	AxB (n=191)	VIB (n=221)	insgesamt (n=619)
keine Gefäßpunktion	201 (97,1%)	185 (96,9%)	211 (95,5%)	597 (96,4%)
Gefäßpunktion	6 (2,9%)	6 (3,1%)	10 (4,5%)	22 (3,6%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: p=0,663

Fazit:

Die drei Blockadeverfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Komplikation Blutaspiration durch Gefäßpunktion nicht signifikant. Eine Gefäßpunktion trat insgesamt in 3,6% der Fälle auf und war somit generell ein seltenes Ereignis.

Tabelle 9: Wahrscheinlichkeit einer Blutaspiration

	OR	95%-KI
LSIB vs. AxB	0,9	0,3 – 2,9
LSIB vs. VIB	0,6	0,2 – 1,8
VIB vs. AxB	1,5	0,5 – 4,1

Fazit:

Obwohl sich die drei Blockadeverfahren laut Tab. 8 in Bezug auf die analysierte Komplikation nicht signifikant unterscheiden, ist die Wahrscheinlichkeit, bei Anwendung der LSIB ein Gefäß zu punktieren, geringer als bei der AxB und der VIB. Vergleicht man AxB und VIB, ist die Gefahr einer blutigen Aspiration bei Anwendung der VIB deutlich höher als bei der AxB.

7.4.1. Inwiefern hängt der Blockadeerfolg von der OP-Dauer ab?

Tabelle 10: Blockadeerfolg und OP-Dauer in Minuten

	≤ 60 (n=377)	61 - 120 (n=211)	121 - 180 (n=27)	> 180 (n=4)
kein Erfolg	113 (30,0%)	59 (28,0%)	10 (37,0%)	1 (25%)
Erfolg	264 (70,0%)	152 (72,0%)	17 (63,0%)	3 (75%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: $p=0,805$

Fazit:

Der Blockadeerfolg hängt nicht signifikant von der OP-Dauer ab.

7.4.2. Inwiefern hängt der Blockadeerfolg vom jeweiligen OP-Gebiet ab?

Tabelle 11: Blockadeerfolg und OP-Gebiet

	Hand (n=249)	Handgelenk (n=112)	Unterarm (n=230)	Ellenbogen (n=28)
kein Erfolg	83 (33,3%)	36 (32,1%)	53 (23,0%)	11 (39,3%)
Erfolg	166 (66,7%)	76 (76,9%)	177 (77,0%)	17 (60,7%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: $p=0,040$

Fazit:

Der Blockadeerfolg hängt signifikant vom OP-Gebiet ab. Da, prozentual gesehen, die Blockade des Plexus brachialis bei Ellenbogenoperationen am wenigsten erfolgreich waren, wurde anschließend ein paarweiser Vergleich der verschiedenen OP-Gebiete mit dem OP-Gebiet Ellenbogen durchgeführt. Außerdem wurde die Wahrscheinlichkeit eines Blockadeerfolges mittels OR verglichen.

Tabelle 12: Paarweiser Vergleich und OR der OP-Gebiete

	p-Wert	OR	95%-KI
Hand vs. Ellenbogen	0,533	1,3	0,6 – 2,9
Handgelenk vs. Ellenbogen	0,507	1,4	0,6 – 3,2
Unterarm vs. Ellenbogen	0,067	2,2	0,9 – 4,9

Fazit:

Obwohl beim globalen Test eine signifikante Abhängigkeit besteht, resultiert beim paarweisen Vergleich keine statistische Signifikanz bezüglich des jeweiligen OP-Gebietes. Es deutet sich aber an, dass eine Operation am Unterarm häufiger erfolgreich in Regionalanästhesie durchgeführt werden konnte als eine Operation am Ellenbogen. Insgesamt gab es recht wenige Ellenbogenoperationen. Das erschwert den Nachweis signifikanter Unterschiede.

Das Innervationsgebiet des Plexus brachialis, das sich distal des Ellenbogens befindet, kann mit einer höheren Wahrscheinlichkeit erfolgreich blockiert werden als der Ellenbogenbereich. Der OR ist zu entnehmen, dass die Chance, bei Operationen am Unterarm nicht supplementieren zu müssen, doppelt so hoch ist.

7.4.3. Hängt der Blockadeerfolg bei Operationen am Unterarm davon ab, ob an knöchernen vs. nicht knöchernen Strukturen operiert wird?

Tabelle 13: Blockadeerfolg und OP-Art am Unterarm

	nicht knöchern (n=89)	knöchern (n=141)
kein Erfolg	14 (15,7%)	38 (27,0%)
Erfolg	75 (84,3%)	103 (73,0%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: $p=0,053$

Fazit:

Obwohl kein signifikanter Unterschied besteht, deutet sich an, dass bei Operationen, in denen an knöchernen Strukturen manipuliert wurde, häufiger supplementiert werden musste.

Tabelle 14: OR der OP-Art am Unterarm

	OR	95%-KI
knöchern vs. nicht knöchern	0,51	0,25 – 1,01

Fazit:

Die Wahrscheinlichkeit, bei Operationen an knöchernen Strukturen nicht supplementieren zu müssen, ist deutlich geringer. Die Chance auf eine suffiziente Blockade des Plexus brachialis ist bei Operationen, bei denen nicht an knöchernen Strukturen manipuliert werden muss, höher.

7.5.1. Unterscheidet sich der Blockadeerfolg in Abhängigkeit vom Patientenalter?

Tabelle 15: Blockadeerfolg und Alter in Jahren

	<= 20 (n=27)	21 - 40 (n=118)	41 - 60 (n=227)	61 - 80 (n=219)	> 80 (n=28)
kein Erfolg	13 (48,1%)	44 (37,3%)	76 (33,5%)	47 (21,5%)	3 (10,7%)
Erfolg	14 (51,9%)	74 (62,7%)	151 (66,5%)	172 (78,5%)	25 (89,3%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: p=0,000

Fazit:

Der Blockadeerfolg hängt signifikant vom Alter ab. Deshalb erfolgte anschließend der paarweise Vergleich mit Berechnung des p-Wertes.

Tabelle 16: Paarweiser Vergleich der Altersgruppen (p-Wert)

Alter in Jahren	21 - 40	41 - 60	61 - 80	> 80
<= 20	1,000	1,000	0,042	0,030
21 – 40		1,000	0,029	0,066
41 – 60			0,058	0,150
61 – 80				1,000

Fazit:

Tab. 16 ist zu entnehmen, dass bei Patienten, die 20 Jahre oder jünger waren, ein Blockadeerfolg signifikant seltener eintrat als bei Patienten, die älter als 60 Jahre waren. Patienten im Alter von 21 - 40 Jahren hatten ebenfalls eine signifikant niedrigere Erfolgsrate als 61 - 80jährige. Die gleiche Tendenz zeigt sich gegenüber den 80jährigen, ebenso bei den 41 - 60jährigen im Vergleich zu älteren Patienten. Zusammenfassend deutet sich an, dass bei jüngeren Patienten häufiger supplementiert werden musste als bei älteren Patienten.

7.5.2. Unterscheidet sich der Blockadeerfolg in Abhängigkeit vom Patientengeschlecht?

Tabelle 17: Blockadeerfolg und Geschlecht

	Männer (n=321)	Frauen (n=298)
kein Erfolg	107 (33,3%)	76 (25,5%)
Erfolg	214 (66,7%)	222 (74,5%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: $p=0,035$

Fazit:

Ein Blockadeerfolg hängt signifikant vom Geschlecht des Patienten ab. Bei Frauen musste signifikant seltener supplementiert werden als bei Männern. Deshalb erfolgte anschließend der Vergleich mittels OR.

Tabelle 18: OR der Geschlechtergruppen (Patienten)

	OR	95%-KI
Frauen vs. Männer	1,5	1,03 – 2,1

Fazit:

Die Wahrscheinlichkeit einer suffizienten Blockade ist bei weiblichen Patienten höher als bei männlichen. Daraus folgt, dass bei Frauen die Chance, nicht supplementieren zu müssen, höher ist.

7.6.1. Hängt der Blockadeerfolg von der Erfahrung des die Punktion durchführenden Anästhesisten ab?

Tabelle 19: Blockadeerfolg und Erfahrung in Monaten

	<= 12 (n=231)	13 - 24 (n=106)	25 - 36 (n=49)	> 36 (n=233)
kein Erfolg	84 (36,4%)	25 (23,6%)	17 (34,7%)	57 (24,5%)
Erfolg	147 (63,6%)	81 (76,4%)	32 (65,3%)	176 (75,5%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: p=0,015

Fazit:

Der Blockadeerfolg hängt signifikant von der Erfahrung des punktierenden Anästhesisten ab. Deshalb wurde anschließend ein paarweiser Vergleich vorgenommen.

Tabelle 20: Paarweiser Vergleich der Erfahrungszeiträume (p-Wert)

in Monaten	13 - 24	25 - 36	> 36
<= 12	0,143	1,000	0,038
13 - 24		1,000	1,000
25 - 36			0,926

Fazit:

Es besteht ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Blockadeerfolges zwischen den Gruppen <= 12 Monate und > 36 Monate. Anästhesisten, die länger als 36 Monate im Helios Klinikum Erfurt tätig waren, erzielten öfter Blockadeerfolge als Kollegen, die maximal 12 Monate oder weniger in oben genannter Klinik arbeiteten.

7.6.2. Hängt der Blockadeerfolg vom Geschlecht des die Punktion durchführenden Anästhesisten ab?

Tabelle 21: Blockadeerfolg und Geschlecht des Anästhesisten

	männlich (n=293)	weiblich (n=326)
kein Erfolg	99 (33,8%)	84 (25,8%)
Erfolg	194 (66,2%)	242 (74,2%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: $p=0,034$

Fazit:

Ob die Regionalanästhesie des Plexus brachialis zu einem Blockadeerfolg führt, hängt signifikant vom Geschlecht des punktierenden Anästhesisten ab. Bei Anästhesistinnen war die Punktion signifikant häufiger erfolgreich als bei Anästhesisten. Aufgrund der Signifikanz wurde anschließend die OR verglichen.

Tabelle 22: OR der Geschlechtergruppen (Anästhesisten)

	OR	95%-KI
Frauen vs. Männer	1,5	1,04 – 2,1

Fazit:

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Blockade des Plexus brachialis, die von einer Anästhesistin vorgenommen wurde, zum Erfolg führt, ist höher als bei einem Anästhesisten. Es ist nicht auszuschließen, dass sich männliche und weibliche Anästhesisten hinsichtlich ihrer Erfahrung unterscheiden. Deshalb wurde weiterführend die Erfahrung zusätzlich zum Geschlecht betrachtet.

Tabelle 23: Erfahrung und Geschlecht des Anästhesisten

	n	Mw	SD	Median	Min - Max
männlich	293	26,9	40,0	13,0	1,0 – 238,0
weiblich	326	52,5	56,1	37,5	1,0 – 219,0
insgesamt	619	40,4	50,7	19,0	1,0 – 238,0

p-Wert des Mann-Whitney-U-Tests: p=0,000

n - Anzahl

Mw - Mittelwert

SD - Standardabweichung

Min - Max - kürzeste bzw. längste Erfahrung

Fazit:

Anästhesistinnen weisen signifikant höhere Erfahrungswerte auf als Anästhesisten. Tab. 23 kann entnommen werden, dass die Zeit ihrer Erfahrung im Durchschnitt etwa doppelt so lang ist. Um zu ermitteln, ob der höhere Blockadeerfolg der Anästhesistinnen aus Tab. 21 allein auf ihren längeren Erfahrungswerten basieren, wurden weiterführend die Erfahrungszeiträume der Mitarbeiter in maximal 36 Monate vs. über 36 Monate unterteilt.

Tabelle 24: Blockadeerfolg und Geschlecht der Anästhesisten, die maximal 36 Monate Erfahrung haben

	männlich (n=225)	weiblich (n=161)
kein Erfolg	83 (36,9%)	43 (26,7%)
Erfolg	142 (63,1%)	118 (73,3%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: p=0,037

Tabelle 25: Blockadeerfolg und Geschlecht der Anästhesisten, die > 36 Monate Erfahrung haben

	männlich (n=68)	weiblich (n=165)
kein Erfolg	16 (23,5%)	41 (24,8%)
Erfolg	52 (76,5%)	124 (75,2%)

p-Wert des exakten Fisher-Tests: p=0,869

Fazit:

Vergleicht man nur die Anästhesisten, die maximal 36 Monate Erfahrung haben, ergibt sich trotz gleicher Erfahrungszeiträume ein signifikant höherer Blockadeerfolg bei den weiblichen Mitarbeitern. Die Anästhesisten mit einer Erfahrung über 36 Monate hinaus unterscheiden sich nicht signifikant hinsichtlich ihres Blockadeerfolges. Kontrolliert man die Erfahrung (maximal 36 Monate vs. über 36 Monate) in Abhängigkeit von Geschlecht des Anästhesisten und Blockadeerfolg resultieren folgende Werte.

Tabelle 26: Geschlecht des Anästhesisten und Blockadeerfolg (OR)

	OR	95%-KI	p-Wert
Frauen vs. Männer	1,4	0,9 – 1,9	0,097

Fazit:

Die OR zeigt, dass Anästhesistinnen tendenziell höhere Erfolgschancen haben als Anästhesisten. Ein signifikanter Unterschied besteht allerdings nicht.

7.7. Darstellung der Daten in einer multivariaten Analyse – logistische Regression

Abschließend wurde eine multivariate Analyse mit einer logistischen Regression durchgeführt. Mit diesem Verfahren kann man den Einfluss verschiedener Merkmale auf die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Ereignis eintritt, quantifizieren.

Tabelle 27:

Merkmal		OR	95%-KI	p-Wert
Technik	AxB vs. LSIB	0,57	0,34 – 0,97	0,036
	VIB vs. LSIB	0,67	0,42 – 1,07	0,096
OP-Gebiet	Ellenbogen vs. Unterarm	0,80	0,32 – 2,02	0,636
	Hand vs. Unterarm	0,87	0,55 – 1,38	0,552
	Handgelenk vs. Unterarm	0,89	0,51 – 1,56	0,695
Geschlecht	Patient Frauen vs. Männer	1,17	0,80 – 1,71	0,407
	Anästhesist Frauen vs. Männer	1,50	1,03 – 2,20	0,035
Alter (Jahre)	21 - 40 vs. < 20	1,38	0,60 – 3,16	0,447
	41 - 60 vs. < 20	1,59	0,72 – 3,49	0,248
	61 - 80 vs. < 20	2,71	1,19 – 6,20	0,018
	> 80 vs. < 20	5,09	1,17 – 22,10	0,030
OP-Dauer (Minuten)	< 60 vs. > 180	2,07	0,22 – 19,75	0,527
	61 - 120 vs. > 180	1,96	0,21 – 18,60	0,559
	121 - 180 vs. > 180	1,17	0,11 – 12,12	0,898
Erfahrung (Monate)	13 - 24 vs. < 12	1,87	1,07 – 3,25	0,027
	25 - 36 vs. < 12	0,93	0,46 – 1,86	0,830
	> 36 vs. < 12	1,47	0,93 – 2,33	0,103

Fazit:

Die logistische Regression bestätigt, dass sich die AxB und die LSIB signifikant unterscheiden. Zwischen VIB und LSIB besteht in dieser Darstellung keine Signifikanz mehr. Die OR zeigt aber, dass die LSIB im Vergleich zu AxB und VIB mit einer höheren Wahrscheinlichkeit zum Blockadeerfolg führt.

Die Gegenüberstellung der verschiedenen OP-Gebiete bestätigt, dass kein signifikanter Unterschied besteht. Es deutet sich aber an, dass die peripheren Nervenblockaden bei Operationen am Unterarm weniger oft supplementiert werden mussten als an den Vergleichsgebieten. Bei der OP-Dauer besteht auch in der multivariaten Analyse kein signifikanter Unterschied bezüglich des Blockadeerfolges.

In der multivariaten Darstellung unterscheiden sich weibliche Patienten hinsichtlich ihres Blockadeerfolges nicht mehr signifikant von den männlichen Patienten. Aufgrund der OR von 1,17 kann man aber sagen, dass die Wahrscheinlichkeit eines Blockadeerfolges bei Patientinnen etwas höher ist. Die Anästhesistinnen unterscheiden sich auch nach der Analyse mittels logistischer Regression signifikant hinsichtlich eines Blockadeerfolges von ihren männlichen Kollegen.

Die Darstellung der Abhängigkeit des Blockadeerfolges vom Patientenalter zeigt, dass die peripheren Nervenblockaden bei Patienten, die älter waren als 60 Jahre, im Vergleich zu Patienten, die maximal 20 Jahre alt waren, signifikant häufiger zum Blockadeerfolg führten.

Aus der Untersuchung der Erfahrungswerte der Anästhesisten kann man schließen, dass Kollegen mit 13 - 24 Monaten Erfahrung einen signifikant höheren Blockadeerfolg erzielten als Mitarbeiter mit maximal 12 Monaten Erfahrung. Mitarbeiter mit mehr als 36 Monaten Erfahrung unterscheiden sich in dieser Darstellung zwar nicht mehr signifikant von Anästhesisten mit kürzeren Erfahrungswerten, aber es zeigt sich die Tendenz, dass die Wahrscheinlichkeit, einen Blockadeerfolg zu erzielen, bei den erfahreneren Anästhesisten höher ist.

8. Diskussion

Die Regionalanästhesie als Alternative zur Allgemeinanästhesie hat sich zu einem weltweiten Trend entwickelt. Betrachtet man die obere Extremität, sind die Zugangsmöglichkeiten zum Plexus brachialis vielfältig. Seitdem Halsted und Hall 1884 die ersten Versuche zur Blockade des N. ulnaris unternahmen, wurden unterschiedlichste Punktionsorte als Zugangsalternative zum Plexus brachialis bestimmt. Viele Methoden haben sich in ihrer praktischen Anwendung nicht etabliert. Zur operativen und schmerztherapeutischen Behandlung der oberen Extremität haben sich bis heute folgende Nervenblockaden durchgesetzt: die interskalenäre Methode nach Winnie, modifiziert nach Meier, die vertikale infraklavikuläre Blockade (VIB) nach Kilka et al. und die axilläre Technik (AxB) nach de Jong (Meier 2001, Kilka et al. 1995, de Jong 1961).

Im Helios Klinikum Erfurt wurde 2008 ein weiteres Verfahren als Zugangsweg zum Plexus brachialis eingeführt: die laterale sagittale infraklavikuläre Blockade (LSIB) nach Klaastad et al.. Diese Methode hat die axilläre und die vertikale infraklavikuläre Technik in hiesiger Klinik ersetzt. Da diese Veränderung allein auf der Überzeugung seiner Vorteilhaftigkeit und theoretischen Effektivität beruht, sollte retrospektiv überprüft werden, ob der Ersatz der etablierten Verfahren gerechtfertigt und die Umstellung auf die LSIB richtig war.

In dieser Arbeit wurden die AxB, die VIB und die LSIB hinsichtlich ihres Blockadeerfolges und auftretender Komplikationen verglichen. Des Weiteren wurden alle Fälle zusammengefasst und analysiert, ob ein Blockadeerfolg von OP-Dauer und OP-Gebiet, von Alter und Geschlecht des Patienten sowie von der Erfahrung und dem Geschlecht des Anästhesisten abhängig ist.

Die Punktionsorte der drei Verfahren wurden anhand anatomischer Landmarken bestimmt. Bei der AxB befindet er sich weit proximal am Oberarm, bei der VIB direkt unterhalb der Clavicula etwa in der Schlüsselbeinmitte und bei der LSIB in der Spitze des knöchernen Dreiecks von Clavicula und Processus coracoideus. Alle drei Verfahren wurden unter Zuhilfenahme der peripheren Nervenstimulation durchgeführt.

In diesem Vergleich waren bei der LSIB eine Erfolgsrate von 78,3%, bei der AxB 67,0% und bei der VIB 66,1% zu verzeichnen (Tab. 6). Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen LSIB und den beiden Vergleichsverfahren. Bei Anwendung

der LSIB ist die Chance eines Blockadeerfolges fast doppelt so hoch als bei Anwendung von AxB und VIB. Entgegengesetzt den Ergebnissen von Neuburger et al. unterschieden sich AxB und VIB im Einzelvergleich (Tab. 7) kaum voneinander (Neuburger et al. 1998). Unter Einbeziehung aller die Blockade beeinflussenden Faktoren unterschied sich die LSIB nicht mehr signifikant von der VIB (Tab. 27). Allerdings deutet sich weiterhin an, dass bei Anwendung der LSIB ein Blockadeerfolg mit höherer Wahrscheinlichkeit erzielt werden konnte.

Die Literatur beschreibt für AxB und VIB weitaus höhere Erfolgsquoten. Für die AxB werden 70 - 92,5% angegeben (Eifert et al. 1994, Kapral et al. 2002, Neuburger et al. 2000, Rettig et al. 2005). Bei der VIB sind sogar Erfolgsquoten zwischen 85 und 95% zu verzeichnen (Adam und Hänsel 2004, Kilka et al. 1995, Schulz-Stübner 2003). Die Kliniken, in denen die Daten erhoben wurden, sind allerdings erheblich auf diese Verfahren spezialisiert. Grau et al. analysierten anhand einer Umfrage die aktuelle Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum. Da die Daten aus verschiedenen Krankenhäusern einbezogen wurden, war somit ein objektiverer Überblick gegeben. Für die AxB haben die Autoren eine Erfolgsrate von 76,7% ermittelt, für die VIB 75,5% (Grau et al. 2004).

Die oben erläuterten Daten sowie die Ergebnisse von Grau et al. stimmen mit der vorliegenden Vergleichsanalyse zwar nicht völlig überein, nähern sich diesen aber an. Lediglich die Tatsache, dass die AxB prozentual gesehen etwas erfolgreicher war als die VIB, stimmt mit den Ergebnissen von Grau et al. überein.

Zur LSIB gibt es kaum Literaturangaben. Vergleichsanalysen mit anderen Blockadeverfahren des Plexus brachialis lagen zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit nicht vor. Sauter et al. untersuchten, ob sich die Erfolgsraten der LSIB in Abhängigkeit von Nervenstimulation vs. Ultraschall unterscheiden. Bei der Stimulationstechnik erzielten sie eine Erfolgsrate von 85%, mit Ultraschall sogar 95% (Sauter et al. 2008). Die Ergebnisse dieser Arbeit stimmen mit den Daten von Sauter et al. näherungsweise überein. Zur Erfolgsrate unter Anwendung des Ultraschallgerätes sind momentan keine Aussagen möglich, da in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die Stimulationstechnik Berücksichtigung fand.

Als Komplikation wurde lediglich die Gefäßpunktion näher analysiert und verglichen. Ein signifikanter Unterschied bestand zwischen keinem der Verfahren (Tab. 8). Bei der LSIB wurde in 2,9% der Fälle ein Gefäß punktiert, bei der AxB in 3,1% und bei der VIB in 4,5%. Das sind insgesamt nur 3,6% aller Fälle. Andere Untersuchungen

zeigen bezüglich der AxB und VIB wesentlich höhere Raten an Gefäßpunktionen. Rettig et al. geben 27% für die AxB und 21% für VIB als Rate für Gefäßpunktionen an (Rettig et al. 2005). Kilka et al. berichten von 10 - 30%, Neuburger et al. von ungefähr 30% Gefäßpunktionen bei der VIB (Kilka et al. 1995, Neuburger et al. 1998). Diese Rate ergibt sich meist aufgrund Nichteinhaltung der streng lotrechten Stichrichtung oder einer medialen Abweichung. Laut der Daten dieser Arbeit ist die Wahrscheinlichkeit, bei Anwendung der VIB ein Gefäß zu punktieren, etwas höher als bei AxB und LSIB (Tab. 9). Die gefürchtete Komplikation eines Pneumothorax trat in keinem der Fälle auf. Die Angaben des Pneumothoraxrisikos schwanken in der Literatur mit 0,2 - 6% (Neuburger et al. 2000, Jankovic 2000). Bei genauer Beachtung der anatomischen Verhältnisse sowie der Vermeidung einer zu medialen oder zu tiefen Punktion stellt die Gefahr der Pleuraverletzung ein minimales Risiko dar. Die Komplikation Infektion der Punktionsstelle tritt gehäuft bei AxB in Kombination mit kontinuierlichen Katheterverfahren auf (Büttner et al. 1989, Schreiber et al. 2002). Es werden Infektionsraten zwischen 0,85% und 7,4% beschrieben (Neuburger et al. 2006, Wiegel et al. 2007). In diesem Vergleich wurde die AxB meist in Single-Shot-Technik durchgeführt. Bei dem geringen Anteil kontinuierlicher Verfahren kam es zu keiner Infektion der Einstichstelle. Auch bei Anwendung der VIB und der LSIB infizierte sich keine Punktionsstelle.

Die OP-Dauer ergab eine maximale OP-Zeit von 180 Minuten. Bei den erfolgreichen Blockaden wurde in dieser Zeitspanne nicht zusätzlich supplementiert. Würde eine Operation über diese Zeit hinaus andauern und eine Supplementierung nach sich ziehen, könnte man trotzdem nicht von einem Blockademisserfolg sprechen. Die Regionalanästhesie hätte die Operation über Stunden ermöglicht und wäre somit erfolgreich gewesen. Das OP-Gebiet als beeinflussender Faktor des Blockadeerfolges zeigte im Einzelvergleich einen signifikanten Unterschied (Tab. 11). Bei Gegenüberstellung der einzelnen OP-Gebiete (Tab. 12) und in der Zusammenschau aller beeinflussenden Fakten (Tab. 27) wird dieser signifikante Unterschied nicht bestätigt. Allerdings zeigt sich die Tendenz, dass die Wahrscheinlichkeit, eine Operation unterhalb des Ellenbogens in reiner Regionalanästhesie durchführen zu können, höher ist als am Ellenbogen selbst. Das kann darauf zurückzuführen sein, dass die Äste zur Versorgung des Ellenbogengelenks in Einzelfällen bereits supraklavikulär abzweigen und somit durch die analysierten Blockadetechniken nicht erfasst werden können. In einer genaueren Betrachtung des Unterarms wurde anschließend überprüft, ob wäh-

rend der Operation an knöchernen Strukturen operiert wurde oder nicht. Es besteht zwar keine eindeutige Signifikanz, aber es deutet sich an, dass bei Operationen an knöchernen Anteilen häufiger supplementiert werden musste (Tab. 14). Dieses Ergebnis spiegelt die anatomische Tatsache wieder, dass die sensible Versorgung der knöchernen Strukturen nicht immer mit den darüber liegenden Hautarealen und den motorischen Reizantworten korreliert (Abb. 2, Abb. 3).

Punktionen bei Patienten, die älter als 60 Jahre waren, führten signifikant häufiger zum Blockadeerfolg als bei Patienten, die maximal 20 Jahre alt waren. Vor dem Hintergrund der Literatur sind diese Ergebnisse nicht belegbar. Es gibt keine Vergleichsanalysen zu diesem Thema. Die ermittelten Daten könnten aber möglicherweise darauf basieren, dass ältere Patienten aufgrund diverser Begleiterkrankungen, wie Diabetes mellitus, Schmerzen vermindert wahrnehmen. Jüngere Patienten haben im Vergleich zu älteren Patienten andere Muskelverhältnisse. Das könnte zu einer verlängerten Anschlagszeit führen. Der verzögert eintretende Blockadeerfolg wäre erst postoperativ evaluierbar. Auch das Patientengeschlecht zeigte hinsichtlich des Blockadeerfolges einzeln betrachtet einen signifikanten Unterschied. In der Zusammenschau aller Faktoren besteht aber kein signifikanter Unterschied mehr. Die Tendenz, dass eine Blockade bei Frauen häufiger zum Erfolg führte als bei Männern, zeigt sich aber weiterhin. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte sein, dass Frauen einen höheren Anteil der älteren Patienten ausmachten und in den jüngeren Altersgruppen mehr männliche Patienten vorkamen (Tab. 4). Auch die unterschiedliche Muskelmasse von Mann und Frau könnte ein Grund für den signifikanten Unterschied des Blockadeerfolges sein. Dieses Ergebnis ist ebenfalls nicht mit anderen Studien belegbar. Laut Literaturangaben wurden häufig Studien mit chronischen Schmerzpatienten durchgeführt, in denen die Schmerzwahrnehmung in den verschiedenen Geschlechtergruppen verglichen wurde. Aus diesen Arbeiten geht hervor, dass Frauen Schmerzen früher wahrnehmen als Männer und dies auch eher mitteilen. Eine Untersuchung geschlechtsspezifischer Unterschiede hat eine 1,5-fach erhöhte Prävalenz von Schmerzen bei Frauen ergeben. Das bedeutet, dass Frauen eine erhöhte Schmerzsensitivität aufweisen. Für Druckschmerz und elektrische Stimulation finden sich die höchsten Effektstärken (Zimmer-Albert et al. 2011).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit könnten in einer prospektiven Studie unter Einbeziehung von Alter, Geschlecht, Begleiterkrankungen und körperlichen Konstitutionen unter randomisierten Bedingungen überprüft und neu analysiert werden.

Weiterhin stellte sich die Frage, ob ein Blockadeerfolg der durchgeführten Regionalanästhesie von der Erfahrungszeit des Anästhesisten abhing. Die Bezeichnung Erfahrung gilt ausschließlich für die Zeit, in der der Anästhesist in der Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie des Helios Klinikum Erfurt GmbH tätig war. Je mehr Erfahrung ein Anästhesist hatte, desto erfolgreicher war das Blockadeergebnis. Beim paarweisen Vergleich bestand ein signifikanter Unterschied zwischen Mitarbeitern, die maximal 12 Monate im Helios Klinikum Erfurt tätig waren und Mitarbeitern, die über 36 Monate Erfahrung hatten (Tab. 20). In der Komplexität aller den Blockadeerfolg beeinflussenden Faktoren war der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen nicht mehr signifikant. Es deutet sich aber an, dass ein Anästhesist mit längerer Erfahrung häufiger einen Blockadeerfolg erzielte. Besonders die Kollegen, die 13 - 24 Monate Erfahrung hatten, waren hinsichtlich einer suffizienten Blockade am erfolgreichsten. Das könnte daran liegen, dass die Anästhesisten im ersten Weiterbildungsjahr in die Technik der Regionalanästhesie eingeführt werden und diese im zweiten Jahr sehr gut beherrschen. Aufgrund der Weiterbildungsabläufe im Helios Klinikum Erfurt haben sie im späteren Verlauf ihrer Facharztausbildung nicht mehr so viel Kontakt zur Regionalanästhesie wie zu Beginn. Mitarbeiter, die auf eine lange Erfahrungszeit zurückblicken, arbeiten häufig nicht mehr an der Basis der Regionalanästhesie und werden erst nach mehreren frustrierten Punktionsversuchen hinzugerufen. Das könnte ein Grund dafür sein, warum sich Mitarbeiter mit mehr Erfahrung in der Zusammenschau aller Faktoren nicht mehr signifikant von den Mitarbeitern mit weniger Erfahrung unterscheiden. In einer Dissertationsschrift wurde der Blockadeerfolg für AxB und VIB in Abhängigkeit vom Ausbildungsstand des Anästhesisten untersucht. Dabei wurde deutlich, dass Fachärzte bei beiden Blockadetechniken, hinsichtlich einer suffizienten Blockade, erfolgreicher abschnitten (Elste 2006). Diese Ergebnisse gleichen in etwa denen, die Grau et al. berichteten (Grau et al. 2004). Andere Untersuchungen beschreiben wiederum die Unabhängigkeit des Blockadeerfolges vom Ausbildungsstand des Anästhesisten (Eifert et al. 1994, Neuburger et al. 1998). In den Untersuchungsergebnissen dieser Arbeit zeigt sich die Tendenz, dass die Wahrscheinlichkeit, einen Blockadeerfolg zu erzielen, höher ist, wenn der Anästhesist bereits länger als 12 Monate in der Klinik tätig ist.

Umso erstaunlicher war das Ergebnis, dass Anästhesistinnen signifikant häufiger einen Blockadeerfolg erzielten als Anästhesisten (Tab. 21). Die längere Berufserfahrung könnte ein Grund für dieses Ergebnis sein (Tab. 23). Deshalb wurde die Klinik-

zugehörigkeit nochmals unterteilt in Mitarbeiter ≤ 36 Monate und > 36 Monate Erfahrung. Die Ergebnisse zeigen, dass weibliche und männliche Mitarbeiter, die über 36 Monate Erfahrung hatten, gleiche Blockadeerfolge erzielten. Auffallend ist, dass bei den Mitarbeitern, die maximal 36 Monate an der Klinik tätig waren, die weiblichen Mitarbeiter signifikant höhere Blockadeerfolge erzielten, als ihre männlichen Kollegen (Tab. 24). Auch in der Gesamtheit aller den Blockadeerfolg beeinflussenden Fakten ergab sich eine Signifikanz. Die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Blockade des Plexus brachialis ist bei Anästhesistinnen höher als bei Anästhesisten. Es gibt keine Studien, die belegen, dass Frauen bei der Durchführung von Nervenblockaden besser sind, als Männer. Es besteht aber die Möglichkeit in einer großen Regionalanästhesiedatenbank zu erfassen, ob Anästhesistinnen eventuell eine steilere Lernkurve aufweisen, als ihre männlichen Kollegen.

8.1. Methodenkritik

Da die Vergleichsanalyse ungeplant war und somit keiner prospektiven Studie entspricht, sind die verwendeten Daten nicht randomisiert. Außerdem sind die Fälle dieser Arbeit einem sehr langen Zeitraum zuzuordnen. In den Jahren, aus denen die Daten stammen, fluktuierte das Personal wie an anderen großen Kliniken auch. Es gab strategische sowie personelle Veränderungen, junge Assistenzärzte traten ihre Weiterbildungszeit an, neue Kollegen wurden in die Verfahren der Regionalanästhesie eingeführt. Die Standards auf dem Gebiet der Regionalanästhesie erfuhren Veränderungen und wurden anhand evidenzbasierter Daten weiterentwickelt und angepasst.

Die Erfassung der AxB erstreckt sich über den größten Zeitraum. Da die „Versagerquote“ erfahrungsgemäß sehr hoch war, gehörte diese Technik schon längere Zeit nicht mehr zur täglichen Routine. Als Standardtechnik zur sensorischen und motorischen Blockade des Plexus brachialis favorisierte man im Helios Klinikum Erfurt die VIB. Auf die AxB wurde nur bei bestehender Kontraindikation der VIB oder nach frustranen Stimulationsversuchen zurückgegriffen.

Des Weiteren ging aus den analysierten Anästhesieprotokollen hervor, dass zwischen 1991 und 2009 die eingesetzten Medikamente in der Regional- und teilweise auch in der Allgemeinanästhesie immer wieder Veränderungen erfuhren. Sowohl 1991 als auch 2009 wurden die Blockaden peripherer Nerven nach den jeweiligen Empfehlungen der Fachgesellschaft durchgeführt. 1991 blockierte man den Plexus brachialis beispielsweise noch mit Prilocain, später mit Bupivacain. Heutzutage wird Ropivacain als Lokalanästhetikum in der Regionalanästhesie verwendet. 1991 war dieses Präparat noch gar nicht auf dem Markt und konnte demzufolge zu diesem Zeitpunkt gar nicht zur Anwendung kommen.

Die Ergebnisse dieses Vergleichs unterscheiden sich in der Zusammenschau aller den Blockadeerfolg beeinflussenden Faktoren oft nicht mehr signifikant voneinander – sind aber dennoch richtungsweisend. Eine definitive Beantwortung der Fragestellungen könnte nur durch eine prospektive Studie herbeigeführt werden, in der die drei Blockadeverfahren unter randomisierten Bedingungen miteinander verglichen werden.

8.2. Schlussfolgerung

Letztendlich beinhaltet die LSIB den am weitesten lateral gelegenen infraklavikulären Zugangsweg zum Plexus brachialis. Vor dem Hintergrund der Literatur betrachtet, wurden infraklavikuläre Punktionsorte immer wieder nach lateral modifiziert. Bereits Raj et al. beschrieben eine infraklavikuläre Technik, bei der die Kanülenspitze nach lateral ausgerichtet war. Dadurch reduzierte sich die Gefahr einer Pleurapunktion (Raj et al. 1973). Bei der VIB nach Kilka et al. sollte die Stimulationskanüle stets nach lateral korrigiert werden, wenn es zu Gefäßpunktionen oder frustrierten Stimulationsversuchen kam – niemals nach medial (Kilka et al. 1995). Neuburger et al. modifizierten diese Methode weiter, indem sie die Punktionsstelle bei Asthenikern durch aufwändige Berechnungen neu definierten. Ist der Akromion-Jugulum-Abstand kleiner als 20 cm, soll die Einstichstelle um 0,3 cm pro fehlendem Zentimeter nach lateral korrigiert werden. So könnte man die Pneumothoraxgefahr zusätzlich reduzieren. Des Weiteren beschrieben sie eine Methode, bei der der Zeigefinger in der Mohrenheimschen Grube platziert wird, um eine zu mediale Punktion zu vermeiden (Neuburger et al. 2003). Klaastad et al. fassten die Korrektur- und Modifikationsversuche zusammen und definierten mit der LSIB einen neuen Punktionsort als sicheren Zugangsweg zum Plexus brachialis (Klaastad et al. 2004).

Aus dieser retrospektiven Vergleichsanalyse von AxB, VIB und LSIB geht hervor, dass die Punktionstechnik der LSIB signifikant häufiger zum Blockadeerfolg geführt hat als die beiden Vergleichsverfahren. Sie ermöglichte eine suffiziente motorische sowie sensorische Blockade des Plexus brachialis. Operationen an Hand, Handgelenk, Unterarm und Ellenbogen konnten signifikant häufiger ohne zusätzliche Supplementierung hoch potenter Analgetika oder Einzelnervblockaden durchgeführt werden. Zusammenfassend hat sich in der klinischen Routine gezeigt, dass die Technik der LSIB zur Blockade des Plexus brachialis mittels Nervenstimulation eine leicht erlernbare sowie schnell und sicher durchführbare Verfahrensweise ist. Sie weist eine hohe Rate an kompletten Blockaden auf und ist mit einer geringen Komplikationsrate behaftet. Im klinischen Alltag konnte sie schnell eingeführt werden und stellt letztendlich eine echte Alternative zu etablierten Blockadetechniken der oberen Extremität dar. Die Einführung der LSIB und damit der Ersatz von AxB und VIB waren richtig. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die alleinige Anwendung dieser effektiven Punktionstechnik gerechtfertigt ist.

9. Literaturverzeichnis

- Adam H, Hänsel B. 2004. Vertikale infraklavikuläre Technik zur Plexus-brachialis-Blockade – Eine Methode zur weiteren Optimierung des Blockadeerfolges. *Anästhesiol Intensivmed Notfallm Schmerzther*, 39: 728 - 734.
- Aul A. 2000. Untersuchung zur Erfolgsrate der axillären Plexus-brachialis-Blockade [Dissertation]. Mannheim: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.
- Auroy Y, Narchi P, Messiah A. 1997. Serious complications related to regional anesthesia. *Anesthesiology*, 87: 479 - 486.
- Auroy Y, Benhamou D, Bargues L. 2002. Major complications of regional anesthesia in France: The SOS regional anaesthesia hotline service. *Anesthesiology*, 97: 1274 - 1280.
- Bartussek E, Fatehi S, Motsch J, Grau T. 2004. Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum, Teil 1: Qualitätssicherung und Ausbildungskonzepte. *Anaesthesist*, 53: 836 - 846.
- Brown DL, Ransom DM, Hall JA, Leicht CH, Schroeder DR, Offord KP. 1995. Regional anaesthesia and local anaesthetic-induced systemic toxicity: seizure frequency and accompanying cardiovascular changes. *Anesth Analg*, 81: 321 - 328.
- Büttner J, Klose R, Dreesen H. 1987. Vergleichende Untersuchung von Prilocain 1% und Mepivacain 1% zur axillären Plexusanästhesie. *Reg Anaesth*, 10: 70 - 75.
- Büttner J, Kemmer A, Argo A. 1988. Axilläre Blockade des Plexus brachialis. *Reg Anaesth*, 11: 7 - 11.
- Büttner J, Klose R, Hammer H. 1989. Die kontinuierliche axilläre Katheter-Plexusanästhesie – eine Methode zur postoperativen Analgesie und Sympathikolyse nach handchirurgischen Eingriffen. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 21: 29 - 32.
- Büttner J, Klose R. 1991. Alkalisierung von Mepivacain zur axillären Katheterplexusanästhesie. *Reg Anaesth*, 14: 17 - 24.
- Büttner J, Meier G. Hrsg. 2010. *Periphere Regionalanästhesie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 69 - 116.
- Büttner J. 2010. Nervenblockaden an den oberen Extremitäten. In: Van Aken H, Hrsg. *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie*. Dritte Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 292 - 301.

- Cheney FW, Domino KB, Caplan RA. 1999. Nerve injury associated with anesthesia. *Anesthesiology*, 90: 1062 - 1069.
- de Jong RH. 1961. Axillary block of the brachial plexus. *Anaesthesiology*, 22: 215 - 225.
- Eifert B, Hähnel J, Kustermann J. 1994. Die axilläre Blockade des Plexus brachialis. *Anaesthesist*, 43: 780 - 785.
- Elste T. 2006. Untersuchung zur Effektivität der axillären und vertikalen infraklavikulären Regionalanästhesie des Plexus brachialis [Dissertation]. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität.
- Fanelli G, Casati A, Garancini P. 1999. Nerve stimulator and multiple injection technique for upper and lower limb blocker: Failure rate, patient acceptance and neurologic complications. *Anesth Analg*, 88: 847 - 852.
- Graf BM, Niesel HC. 2003. Pharmakologie der Lokalanästhesie. In: Van Aken H, Hrsg. Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. Zweite Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 34 - 119.
- Grau T, Fatehi S, Motsch J, Bartussek E. 2004. Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum, Teil 2: Anwendung, Erfolgsraten und Techniken. *Anaesthesist*, 53: 847 - 855.
- Hatzenbuehler M. Hrsg. 2011. Pocket Guide Regionalanästhesie. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 28 - 41.
- Heck M, Fresenius M. Hrsg. 2004. Repetitorium Anästhesiologie. Vierte Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 123 - 156.
- Hempel V. 1999. Anästhesie des Plexus brachialis. *Anaesthesist*, 48: 341 - 355.
- Horlocker TT, Kufner RP, Bishop AT, Maxson PM, Schroeder DR. 1999. The Risk of Persistent Paresthesia Is Not Increased with Repeated Axillary Block. *Anesth Analg*, 88: 382 - 387.
- Jankovic D, Hrsg. 2000. Regionalblockaden in Klinik und Praxis. Zweite Aufl. Berlin. Blackwell, 58 - 86.
- Jankovic D, Hrsg. 2008. Regionalblockaden & Infiltrationstherapie. Vierte Aufl. Berlin: ABW Wissenschaftsverlag GmbH.
- Kapral S, Marhofer P, Grau T. 2002. Ultraschall in der Regionalanästhesie. Teil 1: Technische Entwicklungen und Grundlagen. *Anaesthesist*, 52: 931 - 937.
- Kilka HG, Geiger P, Mehrkens H. 1995. Die vertikale infraklavikuläre Blockade des Plexus brachialis. *Anaesthesist*, 44: 339 - 344.

- Klaastad O, Smith HJ, Smedby Ö, Winther-Larsen H, Brodal P, Breivik H, Fosse ET. 2004. A novel infraclavicular brachial plexus block: The lateral and sagittal technique, developed by magnetic resonance imaging studies. *Anaesth Analg*; 98: 252 - 256.
- Koebke J. 1997. Anatomie des Armplexus. *Orthopäde*, 26: 586 - 589.
- Krebs P, Hempel V. 1984. Eine neue Kombinationsnadel für die hohe axilläre Plexus-brachialis-Anästhesie. *Anästh Intensivmed*, 25: 219.
- Lanz T, Wachsmuth W. Hrsg. 1959. *Praktische Anatomie*. Berlin Göttingen Heidelberg: Springer Verlag, 64 - 77.
- Meier G. 2001. Interskalenäre Plexusblockade. *Anaesthesist*, 50: 333 - 341.
- Meier G, Büttner J. Hrsg. 2004. *Atlas der peripheren Regionalanästhesie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Meier G, Büttner J. Hrsg. 2006. *Atlas der peripheren Regionalanästhesie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Mehrkens HH, Geiger PM. Hrsg. 2005. *Tutorium der peripheren Regionalanästhesie*. Dritte Aufl. Ulm: Rehabilitationskrankenhaus.
- Morin AM, Kerwat KM, Büttner J, Litz RJ, Koch T, Mutters R, Lohoff M, Geldner G, Wulf H. 2006. Hygieneempfehlungen für die Anlage und weiterführende Versorgung von Regionalanästhesie-Verfahren. - Die „15 Gebote“ des Wissenschaftlichen Arbeitskreises Regionalanästhesie. *Anästh Intensivmed*, 47: 372 - 379.
- Neuburger M, Kaiser H, Rembold-Schuster I, Landes H. 1998. Vertikale infraklavikuläre Plexus-brachialis-Blockade. *Anaesthesist*, 47: 595 - 599.
- Neuburger M, Landes H, Kaiser H. 2000. Pneumothorax bei Vertikalen infraklavikulären Blockaden des Plexus brachialis. *Anaesthesist*, 49: 901 - 904.
- Neuburger M, Rotzinger M, Kaiser H. 2001. Elektrische Nervenstimulation in Abhängigkeit von der benutzten Impulsbreite. *Anaesthesist*, 50: 181 - 186.
- Neuburger M, Kaiser H, Uhl M. 2001. Biometrische Daten zum Pneumothoraxrisiko bei vertikalen infraklavikulären Plexus-brachialis-Blockaden (VIP). *Anaesthesist*, 50: 511 - 516.
- Neuburger M, Kaiser H, Ass B. 2003. Vertikal infraklavikuläre Plexus-brachialis-Blockade (VIP) – eine modifizierte Methode der Punktionsortbestimmung unter Berücksichtigung des Pneumothoraxrisikos. *Anaesthesist*, 52: 619 - 624.
- Neuburger M, Breitbarth J, Reisig F, Lang D, Büttner J. 2006. Komplikationen bei peripherer Katheterregionalanästhesie. *Anaesthesist*, 55: 33 - 40.

- Ochoa J, Foulter TJ, Gilliatt RW. 1972. Anatomical changes in peripheral nerve compressed by a pneumatic tourniquet. *J Anat*, 113: 433 - 455.
- Perthes V. 1912. Über Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung. *Münchn Med Wochenschr*, 47: 2545 - 2548.
- Raj PR, Montgomery SJ, Nettles D. 1973. Infraclavicular brachial plexus block – A new approach. *Anaesth Analg*, 52: 897 - 903.
- Raj PR, Rosenblatt R, Montgomery S. 1980. Use of the nerve stimulator for peripheral blocks. *Regional Anesthesia*, 5: 14 - 21.
- Rettig HC, Gielen MJM, Boersma E, Klein J. 2005. A comparison of the vertical infraclavicular and axillary approaches for brachial plexus anaesthesia. *Act Anaesthesiol Scand*, 49: 1501 - 1508.
- Sauter AR, Dodgson MS, Stubhaug A, Halstensen AM, Klaastad O. 2008. Electrical Nerve Stimulation or Ultrasound Guidance for Lateral Sagittal Infraclavicular Blocks: A Randomized, Controlled, Observer-Blinded, Comparative Study. *Anesth Analg*, 106: 1910 - 1915.
- Schreiber T, Ullrich K, Pöplow B, Gaser E, Lemmen HJ, Meißner W. 2002. Infraklavikulärer Plexuskatheter in der perioperativen und chronischen Schmerztherapie. *Anaesthesist*, 51: 16 - 22.
- Schüpfer G, Jöhr M. 1997. Infraclavicular plexus blockade – a safe alternative to axillary approach?. *Anesth Analg*, 84: 233.
- Schulz-Stübner S. 2003. Plexus brachialis. *Anaesthesist*, 52: 643 - 652.
- Sedeek KA, Goujard E. 2007. The Lateral Sagittal Infraclavicular Block in Children. *Anesth Analg*, 105: 295 - 297.
- Stadlmeyer W, Neubauer J. 2000. Unilaterale Phrenicusparese bei vertikaler infraklavikulärer Plexusblockade. *Anaesthesist*, 49: 1030 - 1033.
- Stevens M, Klement W, Lipfert P. 1993. Die Wirkung von Lokalanästhetika bei Leitungsblockaden ist stimulationsabhängig. *Anaesthesist*, 42: 871 - 872.
- Urban MK, Urquhart B. 1994. Evaluation of brachial plexus anesthesia for upper extremity surgery. *Reg Anesthesia*, 19 (3): 175 - 182.
- van Aken H, Wulf H. Hrsg. 2010. Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. Dritte Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 85.
- von Helmholtz H. 1850. Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. *Archive Anatomie und Physiologie*: 277.

- Wiegel M, Gottschaldt U, Hennebach R, Hirschberg T, Reske A. 2007. Complications and adverse effects associated with continuous peripheral nerve blocks in orthopedic patients. *Anaesth Analg*, 104: 1578 - 1582.
- Wilson L, Brown DL, Wong GY, Ehmann RL, Cahill DR. 1998. Infraclavicular brachial plexus block: parasagittal anatomy important to the coracoid technique. *Anesth Analg*, 87: 870 - 873.
- Zimmer-Albert C, Pogatzki-Zahn E. 2011. Schmerz und Alter. In: Kröner-Herwig B, Frettlöh J, Klinger R, Nilges P, Hrsg. *Schmerzpsychotherapie*. Siebte Aufl. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 225 - 241.

10. Anhang

Lebenslauf

Persönliche Daten	Name:	Surek, geb. Gansert
	Vorname:	Nicole
	Geburtsdatum:	13.12.1982
	Geburtsort:	Erfurt
	Familienstand:	verheiratet
	Kinder:	1 Tochter
	Nationalität:	deutsch
Schulbildung	2001	Allgemeine Hochschulreife
Berufsausbildung	10/2001 – 09/2003	Staatlich anerkannte Rettungsassistentin
Studium	2005 - 2012	Medizinstudium an der FSU Jena
Famulaturen	03/2009	Anästhesie - Helios Klinikum Erfurt
	08/2009	Anästhesie - Helios Klinikum Erfurt
	07/2010	Praxisfamulatur - Allgemeinmedizin in Erfurt
	08/2010	Notfallmedizin - Helios Klinikum Erfurt
Praktisches Jahr	08/2011 – 12/2011	Chirurgie - Helios Klinikum Erfurt
	12/2011 – 03/2012	Innere Medizin - Helios Klinikum Erfurt
	03/2012 – 07/2012	Anästhesie - Helios Klinikum Erfurt
Berufstätigkeit	10/2003 – 09/2005	Rettungsassistentin bei verschiedenen Hilfsorganisationen
	10/2005 – 11/2012	Rettungsassistentin auf geringfügig beschäftigter Ebene (ASB KV Erfurt)
	seit 01/2013	Ärztin in Weiterbildung Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie Helios Klinikum Erfurt GmbH

Erfurt, den 14.05.2014

Danksagung

Mein Dank geht an Frau Dr. med. Simone Liebl-Biereige und Herrn Prof. Dr. med. Andreas Meier-Hellmann, die es mir ermöglicht haben, diese Arbeit zu erstellen und mir mit konstruktiver Kritik stets zur Seite standen.

Des Weiteren danke ich Herrn Prof. Dr. med. Konrad Reinhart für die Überlassung des Promotionsthemas.

Ich danke den Mitarbeiterinnen aus dem Archiv des Helios Klinikum Erfurt für die Organisation und Bereitstellung der älteren Patientenakten.

Zuletzt danke ich meiner Familie und meinen Freunden, die mich stets ermutigt haben, diese Arbeit fertigzustellen.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Dr. med. Simone Liebl-Biereige, Prof. Dr. med. Andreas Meier-Hellmann, Hiltrud Niggemann,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Erfurt, den 14.05.2014

Nicole Surek